

(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
28. November 2024 (28.11.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/240282 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B62D 5/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2024/100321

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. April 2024 (16.04.2024)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2023 113 235.0
22. Mai 2023 (22.05.2023) DE

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

(72) **Erfinder: VORNEHM, Martin**; Im Grün 47, 77815 Bühl (DE). **DIRAUF, Simon**; Langermoos 2, 96194 Walsdorf (DE). **RUH, Fabian**; Loewenichstraße 10, 91054 Erlangen (DE). **SEVERIN, Benjamin**; Sankenbachstraße 98, 72270 Baiersbronn (DE). **ALTHERR, Jannick**; Eilseestraße 2, 77815 Bühl (DE). **REIF, Dominik**; Waldstr. 14, 91091 Grobenseebach (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:** OPERATING UNIT, METHOD FOR TESTING THE FUNCTIONALITY OF A MAGNETORHEOLOGICAL BRAKE, COMPUTER PROGRAM PRODUCT, AND STEER-BY-WIRE SYSTEM

(54) **Bezeichnung:** BEDIENEINHEIT, VERFAHREN ZUR FUNKTIONSÜBERPRÜFUNG EINER MAGNETRHEOLOGISCHEN BREMSE, COMPUTERPROGRAMMPRODUKT UND STEER-BY-WIRE-SYSTEM

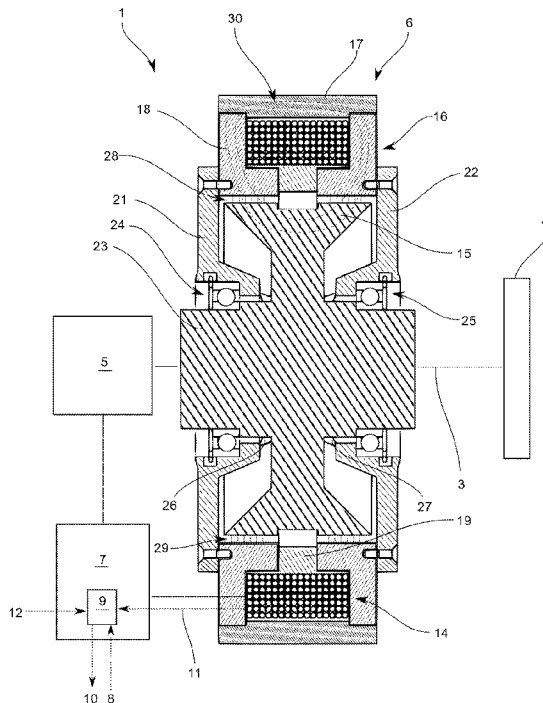


Fig. 2

(57) **Abstract:** The invention relates to an operating unit (1) for influencing the driving direction of a motor vehicle (2) by means of a user, comprising a rotatably mounted steering shaft (3), which can be coupled to a steering means (4), a force-feedback actuator (5), which is connected to the steering shaft (3) so as to transmit a torque, a magnetorheological brake (6), which is likewise connected to the steering shaft (3) so as to transmit the torque, and a control unit (7) for controlling the operating unit (1), wherein the control unit (7) is designed to retrieve a program (9) for a functional test of the magnetorheological brake (6) according to a trigger signal (8) and to run the program, the control unit (7) provides an error signal (10) if it is ascertained that the magnetorheological brake (6) has fallen below a specified braking effect, the program (9) is configured such that the force-feedback actuator (5) provides a motor torque (M_{EM}), the magnetorheological brake (6) is supplied with a test torque (M_R), and the actual parameter (11) which represents the braking effect is the angular position of the magnetorheological brake (6) when the test torque (M_R) is applied.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Bedieneinheit (1) zur Beeinflussung einer Fahrrichtung eines Kraftfahrzeugs (2) durch einen Benutzer, umfassend eine drehbar gelagerte Lenkwelle (3), welche mit einem Lenkmittel (4) koppelbar ist, sowie einen Force-Feedback-Aktuator (5), welcher mit der Lenkwelle (3) drehmomentübertragend verbunden ist, und einer magnetrheologische Bremse (6), die ebenfalls mit der Lenkwelle (3) drehmomentübertragend verbunden ist, und einer Steuereinheit (7) zu Steuerung der Bedieneinheit (1), die Steuereinheit (7) eingerichtet ist, nach einem Trigger-Signal (8) ein Programm (9) für eine

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)

Funktionsüberprüfung der magnetrheologischen Bremse (6) aufzurufen und auszuführen, wobei die Steuereinheit (7) beim Feststellen einer Unterschreitung einer vordefinierten Bremswirkung der magnetrheologischen Bremse (6) ein Fehlersignal (10) zu Verfügung stellt, wobei das Programm (9) so konfiguriert ist, dass der Force-Feedback-Aktuator (5) ein Motormoment (M_{EM}) bereitstellt und die magnetrheologische Bremse (6) mit einem Prüfmoment (M_R) beaufschlagt wird und der die Bremswirkung repräsentierende Ist-Parameter (11) die Winkellage der magnetrheologische Bremse (6) beim Anlegen des Prüfmoments (M_R) ist.

**Bedieneinheit, Verfahren zur Funktionsüberprüfung einer
magnetrheologischen Bremse, Computerprogrammprodukt und Steer-by-
Wire-System**

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Bedieneinheit zur Beeinflussung einer Fahr-
richtung eines Kraftfahrzeugs durch einen Benutzer, umfassend eine drehbar
gelagerte Lenkwelle, welche mit einem Lenkmittel koppelbar ist, sowie einen Force-
Feedback-Aktuator, welcher mit der Lenkwelle drehmomentübertragend verbunden
ist, und einer magnetrheologischen Bremse, die ebenfalls mit der Lenkwelle
10 drehmomentübertragend verbunden ist, und einer Steuereinheit zu Steuerung der
Bedieneinheit. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Funktionsüberprüfung
einer magnetrheologischen Bremse, ein Computerprogrammprodukt und ein Steer-
by-Wire-System.
- 15 Elektrische Lenkvorrichtungen dienen - unter anderem in Kraftfahrzeugen - dazu,
einen Richtungswunsch eines Fahrers entgegenzunehmen und in entsprechende
Bewegungen eines oder mehrerer Räder umzusetzen. Gegenüber rein
mechanischen Lenkvorrichtungen unterscheidet man bei elektrischen
Lenkvorrichtungen zwischen elektrisch unterstützten Lenkvorrichtungen sowie
20 vollständig elektrischen Lenkvorrichtungen, sogenannten „Steer-by-Wire“-
Lenkvorrichtungen. Insbesondere diese Steer-by-Wire-Lenkvorrichtungen haben
den Vorteil, dass die Bedieneinheit unabhängig von mechanischen
Verbindungskomponenten relativ frei innerhalb des Fahrzeuges positioniert werden
kann, was neben einer Kostenersparnis bei der Unterscheidung von z.B. rechts-
25 und linksgelenkten Fahrzeugen zudem zu einem verbesserten Unfallverhalten
durch Fehlen einer Lenksäule führt. Weiterhin kann die Bedieneinheit in eine
Verstauposition gebracht werden, welche z.B. auch bei vollständig automatischem
Lenken genutzt wird.
- 30 Unter einem Steer-By-Wire-Lenksystem im Sinne der vorliegenden Erfindung ist ein
Lenkungssystem zu verstehen, welches im Wesentlichen aus einem sogenannten
Hand Wheel Aktuator (HWA), beispielsweise der Aktuatorik um das befehlsgebende
Fahrzeug-Lenkrad herum, und einem Road Wheel Aktuator (RWA), also der auf die

mit den Fahrzeugrädern verbundene Lenkmechanik wirkenden Aktuatorik, besteht. Per Leitung („by wire“) wird dabei das Lenksignal vom HWA zum RWA übertragen.

5 Zur Erzeugung eines realistischen Fahrgefühls ist es im Stand der Technik ferner bekannt, aus einer tatsächlichen momentanen Fahrsituation Parameter wie Fahrzeuggeschwindigkeit, Lenkwinkel, Querbesehleunigung, Spurstangenkraft und dergleichen zu erfassen oder in einer Simulation zu berechnen, und aus diesen ein Rückkopplungs-Signal zu bilden, welches in einen Force-Feedback-Aktuator eingespeist wird. Der Force-Feedback-Aktuator ist in die Eingabeeinheit integriert
10 und weist eine Aktuatoreinheit auf, die einen als Handmoment- oder Lenkradsteller dienenden Stellantrieb umfasst, und die abhängig vom Rückkopplungs-Signal ein dem realen Reaktionsmoment zumindest teilweise entsprechendes Rückkopplungsmoment (Feedbackmoment) über die Lenkwelle in das Lenkrad einkoppelt. Eine teilweises Rückkopplungsmoment ist insbesondere dann geeignet,
15 wenn weitere ggf. steuerbare Komponenten wie Federn oder Bremsen ergänzende Rückkopplungsmomente liefern. Es werden unter Feedbackmoment beide Wirkrichtungen verstanden, d.h. auch dass der Feedback-Aktor sich als einstellbare Last vom Fahrer drehen lässt. Derartige „Force-feedback“-Systeme geben dem Fahrer den Eindruck einer realen Fahrsituation wie bei einer konventionellen
20 Lenkung, was eine intuitive Reaktion erleichtert.

Aus der DE 102008036730 A1 ist ein Steer-by-wire-Lenksystem mit einer Eingabeeinheit bekannt, die eine von einem Elektromotor angetriebene Aktuatoreinheit aufweist. Der Elektromotor kann von einer elektronischen
25 Steuereinheit angesteuert werden, die in Abhängigkeit von Messwerten, welche die jeweilige Fahrsituation charakterisieren, den Motorstrom einstellt. Die Motorwelle ist direkt mit der Lenkwelle gekuppelt, somit ist das Motordrehmoment identisch mit dem in die Lenkwelle eingekoppelten Handmoment. Dabei ist der Elektromotor bezüglich der Längsachse axial an die Manteleinheit angeflanscht und die
30 Motorwelle über eine Kupplung mit der in der Manteleinheit gelagerten Lenkwelle verbunden. Eine gleichartig aufgebaute Aktuatoreinheit ist in der EP 2414211 B1 dargestellt. In der darin beschriebenen Ausführung bildet die Lenkwelle selbst die Motorwelle des Elektromotors, sodass ein kompakterer Aufbau realisiert werden kann.

Es ist in diesem Zusammenhang ferner bekannt, elektromotorisch betriebene Force-Feedback-Aktuatoren mit einem Getriebe zur verbesserten Anpassung von Drehzahlen- bzw. Drehmomenten zu versehen. So sind beispielsweise elektrische Motoren mit Schneckentrieb am Lenksäulenende bekannt, welche mittels einer Welle mit dem Lenkrad verbunden sind. Ein Beispiel für diese Ausführungsform findet sich in DE102018101528B4. Mit diesen Getrieben können vergleichsweise hohe Übersetzungen und damit hohe Momente erreicht bzw. gehalten werden, allerdings ist der relativ große Bauraumbedarf und die abgewinkelte Bauform oft nachteilig. Ferner müssen derartige mit einem Schneckentrieb gekoppelte Force-Feedback-Aktuatoren in der Regel mit hohem Aufwand an Präzision und Materialwahl hinsichtlich Reibung (i.d.R. zu hoch) und Gleichmäßigkeit der Reibung (i.d.R. zu ungleichmäßig) optimiert werden.

Neben den Schneckentrieben ist es ebenfalls bekannt, einen elektrischen Motor eines Force-Feedback-Aktuators mit einem Planetengetriebe am Lenksäulenende zu verbinden, was z.B. in CN215706606U beschrieben ist. Mit Planetengetrieben können jedoch in einer Stufe üblicherweise nur moderate Übersetzungen und damit Momente erreicht werden. Die Ausnutzung eines Reib- bzw. Verlustmomentes für das Force-Feedback erfordert Zusatzaufwand und Reibeinrichtungen.

Grundsätzlich sind des Weiteren auch direktangetriebene Force-Feedback-Aktuatoren bekannt, die gelegentlich auch als Direct Drive bezeichnet werden. Beispiele für derartige Ausführungen finden sich z.B. in CN112644580B oder DE102018101528B4. Grundsätzlich ist bei derartigen direktangetriebenen Force-Feedback-Aktuatoren am fernen Lenksäulenende eine mit Kosten und Bauraumbedarf verbundene teleskopierbare Lenkwelle erforderlich. Lenksäulen mit einem direktangetriebenen Force-Feedback-Aktuator in Lenkradnähe sind beispielsweise in EP3960583A1 und EP3476692B1 dargestellt. Diese zeigen auch die Option auf, daß das stehende Lenksäulenteil radial innen liegt, und das drehende Lenkradteil radial außen liegt, was dann auch für den Force-Feedback-Aktoren als Motor (Außenläufer) und/oder magnetrheologische Bremse (Außenläufer) gilt.

Um bei derartigen Steer-by-Wire Systemen ein möglichst realistisches Lenkgefühl zu bewirken ist es ferner bekannt zur Erhöhung des Widerstandsmoments eine magnetorheologische Bremse in den Drehmomentenfluss einer Lenkvorrichtung anzuordnen. In Kombination kann man hierdurch in gleichbleibendem Bauraum ein
5 höheres Summenrückstellmoment bei geringerem Energieverbrauch realisieren

Bei derartigen magnetrheologischen Bremsen (egal ob Innenläufer oder Außenläufer) kann es z.B. als Folge von Dichtungsversagen oder Pulverdegradation zu einem unmittelbaren oder schleichenden Ausfall der
10 magnetrheologischen Bremse kommen.

Im Lichte dieses Standes der Technik ist es nunmehr die Aufgabe der Erfindung eine Bedieneinheit zur Beeinflussung einer Fahrrichtung eines Kraftfahrzeugs durch einen Benutzer bereitzustellen, die einen derartigen Bremskraftverlust der
15 magnetrheologischen Bremse erkennen und Gegen- und/oder Warnmaßnahmen initiieren kann. Es ist ferner die Aufgabe der Erfindung ein optimiertes Verfahren zur Funktionsüberprüfung einer magnetrheologischen Bremse zu realisieren sowie ein entsprechend verbessertes Computerprogrammprodukt und Steer-by-Wire-System bereitzustellen.

20 Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Bedieneinheit zur Beeinflussung einer Fahrrichtung eines Kraftfahrzeugs durch einen Benutzer, umfassend eine drehbar gelagerte Lenkwelle, welche mit einem Lenkmittel koppelbar ist, sowie einen Force-Feedback-Aktuator, welcher mit der Lenkwelle drehmomentübertragend verbunden
25 ist, und einer magnetrheologischen Bremse, die ebenfalls mit der Lenkwelle drehmomentübertragend verbunden ist, und einer Steuereinheit zu Steuerung der Bedieneinheit, wobei die Steuereinheit eingerichtet ist, nach einem Trigger-Signal ein Programm für eine Funktionsüberprüfung der magnetrheologischen Bremse aufzurufen und auszuführen die Steuereinheit eingerichtet ist, nach einem Trigger-
30 Signal ein Programm für eine Funktionsüberprüfung der magnetrheologischen Bremse aufzurufen und auszuführen, wobei die Steuereinheit beim Feststellen einer Unterschreitung einer vordefinierten Bremswirkung der magnetrheologischen Bremse ein Fehlersignal zu Verfügung stellt, wobei das Programm so konfiguriert

ist, dass der Force-Feedback-Aktuator ein Motormoment M_{EM} bereitstellt und die magnetrheologische Bremse mit einem Prüfmoment M_R beaufschlagt wird und der die Bremswirkung repräsentierende Ist-Parameter die Winkellage der magnetrheologischen Bremse beim Anliegen des Prüfmoments M_R ist.

5

Hierdurch wird der Vorteil erzielt, dass eine Bremskraftreduktion oder ein Ausfall der magnetrheologischen Bremse frühzeitig erkennbar ist. Ebenso ist eine ggf. zeitweise oder teilweise Kompensation einer erkannten Bremskraftreduktion möglich – entweder durch die Bremse selbst (beispielsweise durch eine zeitweilig stärkere Bestromung) oder durch einen anderen Feedback-Aktor (beispielsweise durch eine zweite Bremse oder durch einen zeitweilig stärker bestromten Elektromotor).

10

15

Die magnetrheologische Bremse kann als Außenläufer oder Innenläufer ausgeführt werden.

20

Die magnetrheologische Bremse kann ein Magnetfeld mittels eines bestrombaren Elektromagneten und/oder eines Permanentmagneten bereitstellen, wobei das Magnetfeld auf ein magnetrheologisches Medium einwirkt. Bevorzugt kann die auf das magnetrheologische Medium einwirkende Stärke des Magnetfeldes einstellbar sein.

25

30

Die magnetorheologische Bremse kann als eine Pulverbremse ausgeführt sein, welche auf dem an sich bekannten Effekt basiert, dass beispielsweise Eisenpulver unter Wirkung eines Magnetfeldes verklumpt, bzw. Fäden entlang der Feldlinien bildet. Diese Fäden oder Klumpen erzeugen durch magnetische Anhaftung zwischen einem bewegtem und einem stehenden Eisenteil eine Bremskraft bzw. Bremsmoment. Bei Deaktivierung des Magnetfeldes fällt die Bremswirkung wunschgemäß ab, was einerseits auf der dann einsetzenden Vereinzelung der typisch 10-100µm kleinen Partikel beruht, andererseits auch der Partikel-Verlagerung von den Scherzonen in benachbarte Ruhezonen. In den Ruhezonen liegt ein Magnetfeldgradient vor, so dass bei Bremsaktivierung die Partikel wieder von den Ruhezonen in die Scherzonen wandern. Das magnetorheologische Pulver

ist also umgeben von Luft bzw. einem Gas, welche leicht verdichtbar und niederviskos sind.

Alternativ kann es sich bei dem Medium um eine Flüssigkeit und besonders bevorzugt um eine magnetorheologische Flüssigkeit handeln. Magnetorheologische Flüssigkeiten haben die Eigenschaft, dass sie ihre Viskosität um mehrere Größenordnungen in Abhängigkeit eines sie durchsetzenden Magnetfeldes ändern können. Der Ausdruck „magnetorheologisches Fluid“ (MRF) bezeichnet damit Flüssigkeiten, die ähnlich wie Ferrofluide auf ein Magnetfeld reagieren, sich aber im Gegensatz zu diesem dabei verfestigen. Magnetorheologische Fluide bestehen beispielsweise aus einer Suspension von mikrometergroßen magnetischen Teilchen, die ein bis drei Größenordnungen größer sind als die Teilchen von Ferrofluiden. Die relativ großen Teilchen der magnetorheologischen Fluide bilden Ketten, wenn ein Magnetfeld angelegt wird. Dies erhöht die Viskosität des MRF und kann dieses sogar verfestigen, wenn eine einwirkende Druckkraft nicht groß genug ist, um die Ketten zu brechen.

Besonders bevorzugt ist die Verwendung der Bedieneinheit in einem HWA (Handwheel-Aktuator) eines Steer-by-Wire-Systems.

Die Lenkwelle kann mit einem Lenkmittel drehfest verbunden werden. Das Lenkmittel kann bevorzugt als Lenkrad ausgeführt sein. Grundsätzlich wäre es auch möglich, das Lenkmittel als Lenkbügel auszubilden.

Die Bedieneinheit kann ferner eine Steuereinheit aufweisen. Eine Steuereinheit, wie sie in der vorliegenden Erfindung verwendet wird, dient insbesondere der elektronischen Steuerung und/oder Regelung eines oder mehrerer technischer Systeme der Bedieneinheit, insbesondere des Force-Feedback-Aktuators und/oder der magnetorheologischen Bremse.

Eine Steuereinheit weist insbesondere einen kabelgebundenen oder kabellosen Signaleingang zum Empfang von insbesondere elektrischen Signalen, wie beispielsweise eines Trigger-Signals und/oder Sensorsignalen, auf. Ferner besitzt

eine Steuereinheit ebenfalls bevorzugt einen kabelgebundenen oder kabellosen Signalausgang zur Übermittlung von insbesondere elektrischen Signalen, beispielsweise an den Force-Feedback-Aktuator und/oder die magnetrheologische Bremse oder weitere elektrische Verbraucher der Bedieneinheit.

5

Innerhalb der Steuereinheit können Steuerungsoperationen und/oder Reglungsoperationen durchgeführt werden. Ganz besonders bevorzugt ist es, dass die Steuereinheit eine Hardware umfasst, die ausgebildet ist, eine Software auszuführen. Bevorzugt umfasst die Steuereinheit wenigstens einen elektronischen

10

Prozessor zur Ausführung von in einer Software definierten Programmabläufen.

Die Steuereinheit kann ferner einen oder mehrere elektronische Speicher aufweisen, in denen die in den an die Steuereinheit übermittelten Signalen enthaltenen Daten gespeichert und wieder ausgelesen werden können. Ferner

15

kann die Steuereinheit einen oder mehrere elektronische Speicher aufweisen, in denen Daten veränderbar und/oder unveränderbar gespeichert werden können.

Eine Steuereinheit kann eine Mehrzahl von Steuergeräten umfassen, welche insbesondere räumlich getrennt voneinander in oder an der Bedieneinheit oder im

20

Kraftfahrzeug angeordnet sind. Steuergeräte werden auch als Electronic Control Unit (ECU) oder Electronic Control Module (ECM) bezeichnet und besitzen bevorzugt elektronische Mikrocontroller zur Durchführung von Rechenoperationen zur Verarbeitung von Daten, besonders bevorzugt mittels einer Software. Die Steuergeräte können bevorzugt miteinander vernetzt sein, so dass ein

25

kabelgebundener und/oder kabelloser Datenaustausch zwischen Steuergeräten ermöglicht ist. Insbesondere ist es auch möglich, die Steuergeräte über im Kraftfahrzeug vorhandene Bus-Systeme, wie beispielsweise CAN-Bus oder LIN-Bus, miteinander zu vernetzen.

30

Ganz besonders bevorzugt besitzt die Steuereinheit wenigstens einen Prozessor und wenigstens einen Speicher, der insbesondere einen Computerprogrammcode enthält, wobei der Speicher und der Computerprogrammcode konfiguriert sind, mit dem Prozessor, die Steuereinheit zur Ausführung des Computerprogrammcodes zu veranlassen.

Die Steuereinheit kann besonders bevorzugt ein Leistungselektronikmodul zur Bestromung des Force-Feedback-Aktuators und/oder der magnetrheologischen Bremse umfassen. Ein Leistungselektronikmodul ist bevorzugt ein Verbund
5 verschiedener Komponenten, welche einen Strom an die elektrische Maschine steuern oder regeln, bevorzugt inklusive hierzu benötigter peripherer Bauteile wie Kühlelemente oder Netzteile. Insbesondere enthält das Leistungselektronikmodul Leistungselektronik bzw. ein oder mehrere Leistungselektronikbauteile, welche zur Steuerung oder Regelung eines Stroms
10 eingerichtet sind. Dabei handelt es sich besonders bevorzugt um einen oder mehrere Leistungsschalter, z.B. Leistungstransistoren.

Bevorzugt ist die Steuereinheit so ausgebildet, dass sie nach Erhalt eines Trigger-Signals ein Programm für eine Funktionsüberprüfung der magnetrheologischen
15 Bremse aufruft und auszuführen. Grundsätzlich wäre es auch denkbar, dass die Funktionsüberprüfung der magnetrheologischen Bremse teilweise oder vollständig mittels einer elektronischen Schaltung erfolgt.

Die Aufgabe der Erfindung kann auch gelöst werden durch ein Verfahren zur
20 Funktionsüberprüfung einer magnetrheologischen Bremse einer Bedieneinheit zur Beeinflussung einer Fahrriechtung eines Kraftfahrzeugs durch einen Benutzer, wobei die Bedieneinheit

- eine drehbar gelagerte Lenkwelle, welche mit einem Lenkmittel koppelbar
25 ist, sowie
- einen Force-Feedback-Aktuator, welcher mit der Lenkwelle drehmomentübertragend verbunden ist, und
- eine magnetrheologische Bremse, die ebenfalls mit der Lenkwelle drehmomentübertragend verbunden ist, und
- eine Steuereinheit zu Steuerung der Bedieneinheit, aufweist,
30

wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- Empfang eines Trigger-Signals zur Initialisierung der Funktionsüberprüfung,

- Ermittlung eines die Bremswirkung der magnetrheologischen Bremse repräsentierenden Ist-Parameters und
- Vergleich des ermittelten Ist-Parameters mit einem vordefinierten Soll-Parameter und
- 5 • bei Vorliegen einer vordefinierten Abweichung zwischen Ist-Parameter und Soll-Parameter Bereitstellung eines Fehlersignals,
- wobei zur Ermittlung der Bremswirkung der magnetrheologischen Bremse die Steuereinheit so konfiguriert ist, dass der Force-Feedback-Aktuator ein
- 10 Motormoment M_{EM} bereitstellt und die magnetrheologische Bremse mit einem Prüfmoment M_R beaufschlagt wird und der die Bremswirkung repräsentierende Ist-Parameter eine Winkellage der magnetrheologischen Bremse beim Anliegen des Prüfmoments M_R repräsentiert.

15

In einer ersten Ausführungsform des Verfahrens zur Funktionsüberprüfung einer magnetrheologischen Bremse einer Bedieneinheit wird also als Ist-Parameter eine Winkellage der magnetrheologischen Bremse herangezogen. Es ist somit vorgesehen, dass die Steuereinheit so konfiguriert ist, dass der Force-

20 Feedback-Aktuator ein Motormoment M_{EM} bereitstellt und die magnetrheologische Bremse mit einem Prüfmoment M_R beaufschlagt wird und der die Bremswirkung repräsentierende Ist-Parameter die Winkellage der magnetrheologischen Bremse beim Anliegen des Prüfmoments M_R repräsentiert.

25

Zur konstruktiven Umsetzung kann beispielsweise ein Elektromotor als Force-Feedback-Aktuator verwendet werden, wobei dann beobachtet wird, ob bei einem erwarteten Bremsmoment bzw. Bestromung der magnetrheologischen Bremse, ein für kurze Zeit durch den Force-Feedback-Aktuator aufgebrachtes geringfügig größeres Drehmoment zu einer beginnenden Drehung der Lenkwelle führt.

30

Bevorzugt kann es entsprechend auch möglich sein, dass beim Ein-/Ausschalten der Bedieneinheit bzw. der Steuereinheit, beispielsweise beim Öffnen einer Fahrzeugtür, ein Trigger-Signal an die Steuereinheit gesendet wird, dass dann beispielsweise ein Programm für die Funktionsüberprüfung der

magnetrheologischen Bremse in der Steuereinheit aufruft und ausführt, so dass in zeitlich/kausaler Abfolge die magnetrheologische Bremse mit einem (geringen) Prüfmoment M_R (incl. Grundreibung) und der Force-Feedback-Aktuator kurzzeitig (0.1-1s) mit einem Motormoment M_{EM} angesteuert wird, das bevorzugt ähnlich dem Prüfmoment M_R ist. Besonders bevorzugt ist das Motormoment M_{EM} des Elektromotors geringfügig größer als das Prüfmoment der magnetrheologischen Bremse M_R , sodass mit einer beginnenden langsamen Drehbewegung der Lenkwelle und somit des Rotors der magnetrheologischen Bremse zu rechnen ist.

Bevorzugt beträgt das Motormoment M_{EM} des Force-Feedback-Aktuators zwischen 0,1 – 1,0 Nm. Ferner beträgt das Prüfmoment M_R der magnetrheologischen Bremse zwischen 0,1 – 1,0 Nm. Hierbei ist bevorzugt ist das Motormoment M_{EM} des Elektromotors geringfügig größer als das Prüfmoment der magnetrheologischen Bremse M_R .

Während und am Ende der Motor-Bestromung kann dann beispielsweise der Drehwinkel des Rotors des Elektromotors bestimmt werden, was bevorzugt bereits durch die Kommutierung des Elektromotors erfolgen kann. Hierdurch kann die Winkeländerung W gegenüber dem Startzustand erfasst werden.

Sofern die Winkeländerung während der Funktionsüberprüfung eine vordefinierte Schwelle überschreitet, wird in einer bevorzugten Ausführung der Erfindung die Motorbestromung vorzeitig abgebrochen, um zu große Winkeländerungen während der Funktionsprüfung der magnetrheologischen Bremse zu vermeiden, die dann auch über das Lenkmittel durch einen Benutzer in unangenehmer Weise wahrnehmbar wären. Kommt es während der Funktionsprüfung zu einem entsprechenden Abbruch durch eine Winkelüberschreitung, kann auch die Zeit bis zum Abbruch als ein Ist-Parameter zur Ermittlung der Bremswirkung der magnetrheologischen Bremse herangezogen werden.

In diesem Zusammenhang sind Winkelschwellen zwischen 1°-5° zu bevorzugen, da sie einen guten Kompromiss zwischen der Prüfgenauigkeit und der Begrenzung des Lenkwellausschlags bei der Funktionsüberprüfung der magnetrheologischen Bremse bieten.

Das Verfahren zur Funktionsüberprüfung einer magnetrheologischen Bremse einer Bedieneinheit mittels einer Winkellagenänderung ist auch bei Permanentmagnet-unterstützten magnetrheologischen Bremsen oder bei magnetrheologischen
5 Bremsen mit mechanischer konstanter Grundreibung anwendbar. Hierbei ist es dann auch denkbar, dass mehrere Drehmoment-Stufen abgeprüft werden, z.B. die Grundreibung und die aktuierte Reibung.

Ein wesentlicher Vorteil des Verfahrens zur Funktionsüberprüfung einer
10 magnetrheologischen Bremse mittels der beschriebenen Überwachung der Winkellage ist es, dass das Verfahren mit den in der Regel vorhandenen Komponenten der Bedieneinheit durchgeführt werden kann, was ein solches Verfahren wirtschaftlich besonders interessant macht.

15 Des Weiteren kann die Erfindung auch dahingehend weiterentwickelt sein, dass der Force-Feedback-Aktuator einen Elektromotor umfasst, der durch die Steuereinheit bestrombar ist, so dass die Lenkwelle durch den Elektromotor mit einem Motormoment M_{EM} beaufschlagbar ist.

20 Das Motormoment M_{EM} des Force-Feedback-Aktuators entspricht bevorzugt 1,0001-1,2000, besonders bevorzugt 1,0010-1,1000 mal dem Prüfmoment M_R der magnetrheologischen Bremse. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass die Lenkwelle bzw. das an ihr befestigte Lenkmittel während der Funktionsüberprüfung der Bremse keine zu großen Winkelausschläge vollzieht, was bei einem Benutzer,
25 insbesondere bei einer Funktionsprüfung während der Fahrt, zu Irritationen führen könnte.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung kann der eine Winkellage der magnetrheologische Bremse repräsentierende Ist-Parameter mittels
30 eines zur Kommutierung des Elektromotors vorgesehenen Rotorlagesensors ermittelt werden. Hierdurch kann auf einen bereits üblicherweise vorhandenen Rotorlagesensor zur Bestimmung der Winkellage zurückgegriffen werden, was die entsprechenden Herstellungskosten des Systems senken kann. Dadurch, dass sowohl der kommutierte Elektromotor als auch die magnetrheologische Bremse auf

einer gemeinsamen Lenkwelle sitzen bzw. mit dieser drehfest verbunden sind, kann die Winkellage auch in dem Elektromotor und nicht zwingend an oder in der magnetrheologischen Bremse bestimmt werden.

- 5 Zur Erzeugung des Prüfmoments M_R kann die magnetrheologische Bremse bevorzugt bestromt werden. Grundsätzlich ist es aber auch möglich, dass die magnetrheologische Bremse ein stromloses Grundbremsmoment aufweist, dass ebenfalls als Prüfmoment M_R dienen kann.
- 10 In einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens zur Funktionsüberprüfung einer magnetrheologischen Bremse einer Bedieneinheit kann als Ist-Parameter zusätzlich zu der Winkellage ein magnetischer Widerstand und/oder die Induktivität als Ist-Parameter herangezogen werden. Hierdurch wird es ermöglicht, die auf die Winkellage basierende Funktionsüberprüfung der magnetrheologischen Bremse mit
- 15 einem zusätzlichen Ist-Parameter zu überprüfen bzw. zu validieren, was zu einer verbesserten, da redundanten, Funktionsüberprüfung einer sicherheitsrelevanten Funktion der Bedieneinheit beitragen kann.

- Hierbei kann dann ein entsprechend ergänztes Diagnostizieren der
- 20 Funktionsfähigkeit der magnetrheologischen Bremse zusätzlich auch auf der Anwesenheit des magnetrheologischen Mediums durch seinen Einfluss auf den magn. Widerstand bzw. die Induktivität bei Kettenausbildung des magnetrheologischen Mediums erfolgen. Das magnetrheologische Medium, beispielsweise ein magnetrheologisches Pulver, besitzt vor dem Einwirken eines
- 25 Magnetfelds einen höheren magnetischen Widerstand, als die ausgebildeten magnetrheologischen Ketten nach dem Einwirken des Magnetfelds auf das magnetrheologische Medium.

- In einer magnetrheologischen Bremse kann beispielsweise ein pulverförmiges
- 30 magnetrheologisches Medium in „Tälern bereitgehalten“ werden, damit es beim Einwirken des Magnetfeldes nur „auf die Berge“ muss, um dort die entsprechenden magnetrheologischen Ketten zu bilden, welche dann zwischen dem stehenden und bewegten Bremsteil das Bremsmoment erzeugen. Als „Berge“ sind hier die Zonen auf der bewegten oder dem stehenden Bremskomponente zu verstehen, an

welchen der Spaltabstand zwischen stehendem und bewegtem Teil der Bremse besonders gering ist. Als „Täler“ sind diejenigen z.B. als Drehrillen hergestellten Zonen zu verstehen, an denen lokal der Abstand zwischen stehendem und bewegtem Bremsenteil größer ist und deshalb von weniger Feldlinien überquert wird.

Beim Vorliegen eines entsprechenden Trigger-Signals, dass beispielsweise ein Ausschalten des Systems (Zündung...) oder den Stillstand (Lenkwinkel konstant, z.B. Geradeaus) des Systems repräsentieren kann, wird dann – zusätzlich zu der Funktionsüberprüfung mittels der Winkellage - in zeitlich/kausaler Abfolge die magnetrheologische Bremse impulsartig für 0.1-1s angesteuert, bevorzugt über $U=\text{const}$ mit vorgegebener Spannung U nach einer Ruhezeit. Der durch die Erregerspule der magnetrheologischen Bremse fließende Strom $I(t)$ wird gemessen, z.B. induktiv oder als Spannungsabfall über einen Messwiderstand. Dieser Stromverlauf $I(t)$ kann dann analysiert werden im Hinblick auf die Existenz eines von einem Soll-Verlauf abweichenden Verlaufs, z.B. ohne ein Minimum I_m zum Zeitpunkt t_m in einem vorgegebenen Zeitfenster $t_1 \dots t_2$. Dieses Minimum ist indikativ dafür, dass die Pulverpartikel des magnetrheologischen Mediums Ketten bilden, durch welche der magnetische Widerstand sinkt. Beim Fehlen des Minimums I_m und/oder beim Vorliegen eines Zeitpunkts t_m außerhalb $t_1 \dots t_2$ und/oder bei einem zu hohen Wert von I_m kann ein Fehlersignal ausgegeben werden. Dieser Fehler ist beispielsweise indikativ für einen Verlust an magnetrheologischen Partikel, beispielsweise durch ein Dichtungsversagen, und/oder einen Verlust ihrer magnetischen Eigenschaften, beispielsweise durch Oxidation und/oder einen Verlust ihrer Beweglichkeit, beispielsweise aufgrund von Verklumpung.

In einer vorteilhaften Weiterentwicklung der Erfindung kann es auch vorgesehen sein, dass bei einem zu niedrigem Wert I_m (absolut und/oder gegenüber dem Startwert I bei $t=0$) und/oder zu frühem Zeitpunkt t_m ein Fehlersignal erzeugt und bereitgestellt wird. Diese Fehlerart ist indikativ dafür, dass sich Metall-Abrieb im magnetrheologischen Scherspalt zwischen dem Rotor und Stator der Bremse gebildet hat, oder die Scherspaltflächen sich ungewollt berühren.

Es kann auf vorgesehen sein, dass eine geringe Mess-Spannung oder Mess-Strom

für eine begrenzte Zeit an die magnetrheologische Bremse angelegt wird, und der elektrische Widerstand R_0 der Erregerspuler der Bremse ermittelt wird. Bevorzugt kann bei einem zu kleinen Wert R_0 (indikativ für einen elektrischen Kurzschluss) oder einem zu großem Wert R_0 (indikativ für einen elektrischen Kabelbruch) ein
5 Fehlersignal ausgegeben werden.

Das Verfahren zur Funktionsüberprüfung einer magnetrheologischen Bremse einer Bedieneinheit, bei dem als Ist-Parameter ein magnetischer Widerstand und/oder die Induktivität herangezogen wird, kann auch bei Permanentmagnet-unterstützten
10 Bremsen angewendet werden, und ist selektiv empfindlich auf die Anwesenheit des magnetorheologischen Mediums. Bei Ansteuerung mit Konstantstrom ist der zeitliche Verlauf der Spannung – analog zu dem oben beschriebenen Stromverlauf – zu messen und zu analysieren.

15 Ein Vorteil dieser Verfahrensvariante ist die Bereitstellung eines rein elektrischen Verfahrens ohne die Notwendigkeit von mechanisch bewegten Bauelementen.

In einer weiteren, alternativen Ausführungsform des Verfahrens zur Funktionsüberprüfung einer magnetrheologischen Bremse einer Bedieneinheit kann
20 als Ist-Parameter, zusätzlich zu der Winkellage, der elektrische Widerstand zwischen Rotor und Stator der magnetrheologischen Bremse herangezogen werden. Auch hierdurch wird es ermöglicht, die auf die Winkellage basierende Funktionsüberprüfung der magnetrheologischen Bremse mit einem zusätzlichen Ist-Parameter zu überprüfen bzw. zu validieren, was zu einer verbesserten, da
25 redundanten, Funktionsüberprüfung einer sicherheitsrelevanten Funktion der Bedieneinheit beitragen kann. Selbstverständlich ist es auch möglich, die Funktionsprüfung der magnetrheologischen Bremse über die Winkellage sowohl über den magnetischen Widerstand und/oder die Induktivität als auch über den elektrischen Widerstand zwischen Rotor und Stator der magnetrheologischen
30 Bremse zu validieren, was die Überprüfung der Funktionsfähigkeit der magnetrheologischen Bremse weiter verbessern kann.

Hierbei kann dann ein ergänztes Diagnostizieren der Anwesenheit des magnetrheologischen Mediums durch seinen Einfluss auf den elektrischen Widerstand zwischen Rotor und Stator der magnetrheologischen Bremse erfolgen.

- 5 Gemäß dieser weiteren zu bevorzugenden Ausgestaltung des Erfindungsgegenstandes kann es somit auch vorgesehen sein, dass der die Bremswirkung repräsentierende Ist-Parameter einem Stromverlauf bei der Bestromung einer Erregerspule der magnetrheologische Bremse entspricht.
- 10 In dieser bevorzugten Ausgestaltungsvariante der Erfindung kann es somit auch vorgesehen sein, dass der die Bremswirkung repräsentierende Ist-Parameter einem elektrischen Widerstand zwischen einem Rotor und einem Stator der magnetrheologische Bremse entspricht.
- 15 Zur konstruktiven Umsetzung kann der Rotor und Stator der magnetrheologischen Bremse elektrisch isoliert werden, z.B. durch Kunststoffhülsen an den Lagersitzen, und/oder eine Elastomerkupplung zwischen Rotor und Lenkwelle. Über einen Schleifkontakt kann dann beispielsweise eine Prüfspannung an den Rotor angelegt werden, wobei hierbei kein oder nur ein geringer Strom zum Stator fließt, da die
- 20 leitfähigen Partikel des magnetrheologischen Mediums nur eine lockere Schüttung bilden. Sofern der fließende Strom zu hoch ist, also einen vordefinierten Soll-Wert überschreitet, wird auf einen Fehler zurückgeschlossen, beispielsweise hervorgerufen durch verklumpendes magnetrheologisches Medium.
- 25 Hiernach kann dann ein Prüfmagnetfeld, insbesondere über Bestromung der Erregerspule der magnetrheologischen Bremse aktiviert und die Erhöhung des Prüfstroms gemessen werden, da sich durch das Magnetfeld elektrisch leitfähige Ketten aus magnetrheologischen Partikeln bilden. Sofern der Anstieg des Prüfstroms nicht oder nicht ausreichend erfolgt, wird auf einen Fehler,
- 30 beispielsweise fehlendes magnetrheologisches Medium zurückgeschlossen.

Dieses Verfahren ist sowohl bei Permanentmagnet-unterstützten Bremsen als auch bei magnetrheologischen Bremsen mit mechanischer konstanter Grundreibung

anwendbar. Gegeben falls können auch mehrere Drehmoment-Stufen abgeprüft werden, z.B. die Grundreibung und die reduzierte Reibung bei Magnetfeldlöschung.

Auch hier besteht der Vorteil, dass die Bereitstellung eines zusätzlichen, rein elektrischen Verfahrens ohne die Notwendigkeit von mechanisch bewegten Bauelementen erfolgen kann.

Grundsätzlich ist es möglich, dass die Funktionsüberprüfung der magnetrheologischen Bremse über die Winkellage als Ist-Parameter zeitlich versetzt, zeitlich überlappend oder zeitgleich mit den zusätzlichen Funktionsüberprüfungen basierend auf dem magnetischen Widerstand und/oder der Induktivität oder dem elektrischen Widerstand zwischen Rotor und Stator der magnetrheologischen Bremse erfolgen kann.

Es kann gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterentwicklung der Erfindung auch vorgesehen sein, dass das Trigger-Signal ein Öffnen der Fahrertür des Kraftfahrzeugs repräsentiert oder ein Starten des Kraftfahrzeugs repräsentiert, oder den Stillstand des Kraftfahrzeugs repräsentiert, ein Abschalten des Kraftfahrzeugs repräsentiert, ein Verlassen des Kraftfahrzeugs durch den Benutzer repräsentiert oder ein Kommando eines Werkstatt-Testgeräts repräsentiert. Hierbei ist es jeweils vorteilhaft, dass das Trigger-Signal vor einer Benutzung der Bedieneinheit erfolgt. Grundsätzlich wäre es auch denkbar, dass ein Trigger-Signal nach der Benutzung der Bedieneinheit, beispielsweise beim Verlassen des Fahrzeugs erzeugt wird. Des Weiteren kann ein Trigger-Signal auch während der Benutzung der Bedieneinheit erfolgen, beispielsweise bei einer Geradeausfahrt. Insbesondere ist es denkbar, dass das Trigger-Signal von einer übergeordneten Steuereinheit des Kraftfahrzeugs an die Steuereinheit der Bedieneinheit gesendet wird.

Des Weiteren kann es gemäß einer ebenfalls vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen sein, dass das Fehlersignal einen Fehlerspeichereintrag bewirkt und/oder ein optisches und/oder akustisches Warnsignal erzeugt und/oder eine Geschwindigkeitsbegrenzung des Kraftfahrzeugs bewirkt. Auch ist es denkbar, dass das Fehlersignal eine temporäre höhere Bestromung eines einen Elektromotor aufweisenden Force-Feedback-Aktuator initiiert, um den Wegfall des

Bremsmoments durch ein höheres Motormoment ganz oder zumindest teilweise zu kompensieren.

Auch kann es vorteilhaft sein, die Erfindung dahingehend weiterzuentwickeln, dass die magnetrheologische Bremse als permanenterregte magnetrheologische Bremse ausgeführt ist. Der Vorteil, der sich hierdurch realisieren lässt, ist, dass zur Erzielung eines Bremsmomentes der erforderliche Strom geringer ist, und im Fehlerfall eine als Notlauf geeignete Grundreibung vorliegt.

Die Aufgabe der Erfindung kann auch gelöst sein durch ein Computerprogrammprodukt, das auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert ist, oder Computer-Datensignal, verkörpert durch eine elektromagnetische Welle, mit einem Computerprogrammcode, der geeignet ist zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 2-8.

Schließlich kann die Aufgabe der Erfindung auch gelöst sein durch ein Steer-by-Wire-System für ein Kraftfahrzeug umfassend eine Bedieneinheit nach einem der vorherigen Ansprüche und/oder eine Steuereinheit, die eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1-8 auszuführen.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Figuren ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens näher erläutert werden.

Es zeigt:

Figur 1 ein Kraftfahrzeug mit einem Steer-by-wire-System in einer schematischen Blockschaltdarstellung,

Figur 2 eine erste Ausführungsform einer Bedieneinheit in einer schematischen Axialschnittdarstellung,

Figur 3 eine zweite Ausführungsform einer Bedieneinheit in einer schematischen Axialschnittdarstellung,

Figur 4 den zeitlichen Stromverlauf bei einer Funktionsüberprüfung einer magnetrheologischen Bremse, bei der als Ist-Parameter ein magnetischer Widerstand und/oder die Induktivität herangezogen wird,

5

Figur 5 eine dritte Ausführungsform einer Bedieneinheit in einer schematischen Axialschnittdarstellung,

Figur 6 den zeitlichen Signalverlauf bei einer Funktionsüberprüfung einer magnetrheologischen Bremse, bei der als Ist-Parameter ein mechanisches Bremsmoment bzw. eine beginnende Bewegung herangezogen wird,

10

Figur 7 den zeitlichen Signalverlauf bei einer Funktionsüberprüfung einer magnetrheologischen Bremse, bei der als Ist-Parameter ein mechanisches Bremsmoment bzw. eine beginnende Bewegung herangezogen wird, mit einem ersten und einem zweiten Verlauf in jeweils einem separaten Diagramm.

15

20

Die Figur 1 zeigt eine Bedieneinheit 1 zur Beeinflussung einer Fahrrichtung eines Kraftfahrzeugs 2 durch einen Benutzer. Die Bedieneinheit 1 ist in einem Steer-by-wire-System 20 integriert, so dass eine Lenkbewegung des Lenkmittels 4 von der Bedieneinheit 1 elektrisch an einen RWA 33 (Road-Wheel-Aktuator) weitergeleitet wird, welche dann den entsprechenden Lenkwinkel an den Fahrzeugrädern der Fahrzeugachse einstellt.

25

Wie sich gut aus der Figur 2 erkennen lässt, besitzt die Bedieneinheit 1 eine drehbar gelagerte Lenkwelle 3 (diese kann auch als Hohlwelle oder Außenläufer ausgeführt sein), welche mit dem Lenkmittel 4 koppelbar ist, sowie einen Force-Feedback-Aktuator 5, welcher ebenfalls mit der Lenkwelle 3 drehmomentübertragend verbunden ist. Ferner verfügt die Bedieneinheit 1 über eine magnetrheologische Bremse 6, die auch mit der Lenkwelle 3 drehmomentübertragend verbunden ist. Der Force-Feedback-Aktuator 5, die

30

magnetrheologische Bremse 6 sowie das Lenkmittel 4 liegen somit auf einem gemeinsamen Momentenpfad.

Des Weiteren besitzt die Bedieneinheit 1 eine Steuereinheit 7 zu Steuerung der Bedieneinheit 1, wobei die Steuereinheit 7 eingerichtet ist, nach einem Trigger-Signal 8 ein Programm 9 für eine Funktionsüberprüfung der magnetrheologischen Bremse 6 aufzurufen und auszuführen, wobei die Steuereinheit 7 beim Feststellen einer Unterschreitung einer vordefinierten Bremswirkung der magnetrheologischen Bremse 6 ein Fehlersignal 10 zu Verfügung stellt.

Somit kann mittels der in Figur 2 gezeigten Bedieneinheit 1 ein Verfahren zur Funktionsüberprüfung einer magnetrheologischen Bremse 6 ausgeführt werden, wobei die Bedieneinheit 1

- eine drehbar gelagerte Lenkwelle 3, welche mit einem Lenkmittel 4 koppelbar ist, sowie
- einen Force-Feedback-Aktuator 5, welcher mit der Lenkwelle 3 drehmomentübertragend verbunden ist, und
- eine magnetrheologische Bremse 6, die ebenfalls mit der Lenkwelle 3 drehmomentübertragend verbunden ist, und
- eine Steuereinheit 7 zu Steuerung der Bedieneinheit 1, aufweist,

und wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- Empfang eines Trigger-Signals 8 zur Initialisierung der Funktionsüberprüfung,
- Ermittlung eines die Bremswirkung der magnetrheologischen Bremse 6 repräsentierenden Ist-Parameters 11 und
- Vergleich des ermittelten Ist-Parameters 11 mit einem vordefinierten Soll-Parameter 12 und
- bei Vorliegen einer vordefinierten Abweichung zwischen Ist-Parameter 11 und Soll-Parameter 12 Bereitstellung eines Fehlersignals 10,

- wobei zur Ermittlung der Bremswirkung der magnetrheologischen Bremse 6 die Steuereinheit 7 so konfiguriert ist, dass der Force-Feedback-Aktuator 5 ein Motormoment M_{EM} bereitstellt und die magnetrheologische Bremse 6 mit einem Prüfmoment M_R beaufschlagt wird und der die Bremswirkung repräsentierende Ist-Parameter 11 eine Winkellage der magnetrheologischen Bremse 6 beim Anliegen des Prüfmoments M_R repräsentiert.

Die magnetrheologische Bremse 6 verfügt über einen Elektromagneten mit einer bestrombaren Erregerspule 14, deren Feldlinien 30 durch den Stator 16 und den mit der Lenkwelle 3 verbundenen Rotor 15 verlaufen.

Die ringförmige Erregerspule 14 in einem im Querschnitt U-förmigen Spulenträger 18 aufgenommen, der radial außen mit dem Spulenverschluss 17 verschlossen ist. Radial innen ist der Spulenträger 18 von dem Spulenverschluss 19 verschlossen.

Der Spulenträger 18 und der Spulenverschluss 17 sind aus einem ferromagnetischen Material geformt. Die Erregerspule 14, der Spulenträger 18 sowie der Spulenverschluss 17 bilden den Stator 16 der Bremse 6. Der Stator 16 ist über die Lagerschilder 21,22 und die Wälzlager 24,25 an der drehbaren Bremswelle 23 gelagert, die Teil des Rotors 15 ist. Der Rotor 15 ist gegenüber den Lagerschilden 21,22 über die Dichtungen 26,27 abgedichtet.

Bei dem beschriebenen Verfahren zur Funktionsüberprüfung der magnetrheologischen Bremse 6 der Bedieneinheit 1 wird als Ist-Parameter 11 eine Winkellage herangezogen. Hierbei wird dann zunächst ein Bremsmoment durch die Bestromung der Erregerspule 14 der magnetrheologischen Bremse 6 erzeugt und nachfolgend der Elektromotor 13 für kurze Zeit bestromt oder umgekehrt. Kommt es hierbei zu einer zu starken Drehbewegung der Lenkwelle 3, was als Soll-Parameter 12 in der Steuereinheit 7 hinterlegt ist, so wird ein Fehler identifiziert und ein Fehlersignal 10 bereitgestellt.

Der Force-Feedback-Aktuator 5 umfasst also einen Elektromotor 13, der durch die Steuereinheit 7 bestrombar ist, so dass die Lenkwelle durch den Elektromotor 13 mit einem Motormoment M_{EM} beaufschlagbar ist. Dies ist in der Figur 3 gezeigt. Der

Elektromotor 13 umfasst seinerseits einen Stator 31 und einen dazu drehbaren und mit der Lenkwelle 3 verbundenen Rotor 32.

5 Ferner ist das Programm 9 so konfiguriert ist, dass die magnetrheologische Bremse 6 mit dem Prüfmoment M_R beaufschlagt wird und der die Bremswirkung repräsentierende Ist-Parameter 11 die Winkellage der magnetrheologischen Bremse 6 beim Anlegen des Prüfmoments M_R ist.

10 Dadurch, dass das Motormoment M_{EM} nur geringfügig höher als das Prüfmoment M_R , dreht die Lenkwelle 3 nur vergleichsweise langsam an, was mit Hilfe des Rotorlagesensors des Elektromotors 13, der für dessen Kommutierung ohnehin vorhanden ist, analysiert werden kann.

15 Ist die Drehbewegung der Lenkwelle 3 zu gering, ggf. selbst bei höherer Bestromung des Elektromotors 13, kann auf eine übermäßige Reibung oder sogar auf ein Klemmen der Lenkwelle 3 geschlossen werden. Ist die Drehbewegung zu stark, was ggf. mittels Wiederholmessung und/oder einem Fehlerzähler validiert werden kann, kann auf Funktionsverlust der Bremse 6 geschlossen werden. Bevorzugt bewegt sich die Drehbewegung der Lenkwelle 3 innerhalb der
20 Funktionsprüfung zwischen $1-5^\circ$. Ein größerer Drehwinkel $>5^\circ$ zeigt dann einen Bremskraftverlust der magnetrheologischen Bremse 6 und ein kleiner Drehwinkel $<1^\circ$ eine übermäßige Reibung an.

Das Verfahren ist mit angepassten Schwellen und Prüfmomenten auch
25 anwendbar, wenn die magnetrheologische Bremse 6 ein stromloses Grund-Bremsmoment erzeugt.

Das Trigger-Signal 8 kann beispielsweise ein Öffnen der Fahrertür des Kraftfahrzeugs 2 repräsentieren oder ein Starten des Kraftfahrzeugs 2, den
30 Stillstand des Kraftfahrzeugs 2, ein Abschalten des Kraftfahrzeugs 2, ein Kommando von einem Werkstatt-Testgerät oder ein Verlassen des Kraftfahrzeugs 2 durch den Benutzer. Das Fehlersignal 10 kann beispielsweise einen Fehlerspeichereintrag bewirken und/oder ein optisches und/oder akustisches Warnsignal erzeugen und/oder eine Geschwindigkeitsbegrenzung des

Kraftfahrzeugs 2 bewirken.

Zur quantitativ präzisen Ansteuerung der magnetrheologischen Bremse 6 ist eine verlässliche Kennlinie, $Moment = f(\text{Strom})$, erforderlich, z.B. mit Stützstellen und Interpolation. Bei Reibansteuerungen sind Adaptionfunktionen üblich, um die Einzelstreuungen (Adaption bei Produktion, End-of-Line) und die Lebensdauer-Änderungen (Adaption in der Werkstatt oder im Fahrbetrieb in ausgewählten Situationen) zu korrigieren. Die magnetrheologische Bremse 6 wird angesteuert unter Verwendung einer Kennlinie f und mind. einem Parameter, hier „R“ in der Form $M = R \cdot f(I)$. Der Parameter R wird adaptiert, mindestens bei Beginn einer Fahrzeug-Betriebsphase oder nach Ende einer Fahrzeug-Betriebsphase.

Bei der Adaption wird die Diagnosemethode des Drehmomentvergleichs angewendet und magnetrheologische Bremse 6 und der Elektromotor 13 zusammen bestromt. Als Ergebnis der Adaption wird der Adaptivparameter R begrenzt, und das Erreichen der Grenzen kann als Auslöser für ein Fehlersignal und entsprechende Fehlereinträge und/oder Warn-/Notlauffunktionen dienen. Bei Vorliegen eines Partikelverlusts in der magnetrheologischen Bremse 6 würde die Adaption kontinuierlich den Parameter R reduzieren, um diesen Abfall der Bremsmoment-Kapazität zu kompensieren. Das Erreichen vorbestimmter Adaptionsgrenzen ist also indikativ für einen Fehler der Bremse 6.

Neben dem hier beschriebenen multiplikativ wirkenden Parameter R (anschaulich: könnte auch der Reibwert sein, deshalb R) sind äquivalent auch additiv wirksame Adaptivparameter E, der Form $M = E + f(I)$, additiv im Kennlinienargument wirksame Adaptivparameter A, der Form $M = f(I+A)$, multiplikativ im Kennlinienargument wirksame Adaptivparameter B, der Form $M = f(I \cdot B)$ oder Kombinationen hiervon denkbar. Insbesondere können diese Darstellungen sinnvoll sein, wenn z.B. ein Kennlinienoffset durch einen Permanentmagnet oder eine gezielte Magnetisierungs-Remanenz erzeugt wird.

Wie in der Figur 6 zu sehen, liegt in einer ersten Phase der Adaption zwischen t_{Phase1} und t_{Phase2} das angesteuerte Aktuator-Moment 43 des Elektromotors 13

unterhalb des angesteuerten erwarteten Bremsmoments 42. Es wird hierbei folglich keine Rotation der Lenkwelle 3 erwartet.

5 In einer zweiten Phase der Adaption, bei $> t_{\text{Phase2}}$ liegt das angesteuerte Aktuator-Moment 43 oberhalb des angesteuerten erwarteten Bremsmomentes 42, so dass eine Rotation und ein Drehwinkel 44 der Lenkwelle 3 erwartet wird.

10 Nach gegebener Zeit oder wenn die Bewegung eine sichere Detektionsschwelle überschreitet, in der Figur 6 ist dies mit t_{Ende} bezeichnet, wird das Aktuator-Moment 43 schnell reduziert, damit die Rotation der Lenkwelle 3 gestoppt oder sogar umgekehrt wird.

15 Die Adaption kann sowohl mit (wie dargestellt) rampenförmigem Verlauf des Aktuator-Momentes 43, als auch mit anderen Verläufen (Stufen, ...) erfolgen, solange es die zwei Phasen „<Bremsmoment 42“ und „>Bremsmoment 42“ gibt. Ebenso kann das Bremsmoment 42 sowohl konstant (wie dargestellt) oder mit einer abfallenden Rampe oder anders angesteuert werden, solange es die zwei Phasen „<Bremsmoment 42“ und „>Bremsmoment 42“ gibt. Ebenso kann die Ansteuerung vor Beginn der Phase 1 variieren, z.B. indem
20 das Aktuator-Moment 43 erst eingeschaltet wird oder das Bremsmoment 42.

Wenn – wie in der Abbildung a der Figur 7 zu sehen – der Drehwinkel 47 kleiner ausfällt als der erwartete Drehwinkel 44 und z.B. einen Schwellwert 45 nicht übersteigt, wird auf ein tatsächlich größeres Bremsmoment 46 zurückgeschlossen.
25 Zur Korrektur wird der Adaptivparameter R erhöht, der in der Ansteuerungsformel $M = R \cdot f(I)$ bzw. $I = f^{-1}(M/R)$ verwendet wird. f^{-1} symbolisiert hierbei die mathematische Umkehrfunktion, bzw. die Umkehr-Interpolation der entsprechenden Lookup-Tabelle. Die Erhöhung kann in Stufen oder abhängig von der tatsächlich erreichten Drehbewegung erfolgen, ist jedoch auf Min- und Max-Werte begrenzt. Wenn der
30 Drehwinkel 47 größer ausfällt als erwartet (oder wie dargestellt der Schwellwert früh erreicht wird und das EM-Moment reduziert wird) wird auf ein tatsächlich größeres Bremsmoment 42 geschlossen und der Adaptivparameter R reduziert, wodurch künftig die Ansteuerung präziser wird.

In der Figur 5 ist eine Ausführungsform der Bedieneinheit 1 gezeigt, bei der zusätzlich zu dem Ist-Parameter der Winkellage, ein die Bremswirkung repräsentierender zusätzlicher Ist-Parameter 11 einem elektrischen Widerstand zwischen einem Rotor 15 und einem Stator 16 der magnetrheologische Bremse 6 entspricht.

Hierbei wird ein Zusatzkontakt mit dem Spulenverschluss 17 und ein Schleifkontakt 38 zur Lenkwelle 3 hergestellt, zwischen denen ein Prüfstrom 41 durch die magnetrheologische Bremse 6 fließen kann, der beispielsweise durch die Steuereinheit 7 bereitgestellt wird. Der Prüfstrom 41 fließt durch den Prüfstrom zum Schleifkontakt 38. Über den Schalter 40 kann der Prüfstrom 41 gezielt ein- und ausgeschaltet werden, um ihn beispielsweise auch von Kriechströmen trennen zu können. Die Wälzlager 24,25 wirken elektrisch isolierend zwischen dem Rotor 15 und dem Stator 16 der magnetrheologischen Bremse 6, beispielsweise durch eine Hülle, Beschichtung, Keramikugeln oder dergleichen. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass der Prüfstrom 41 nicht an den magnetrheologischen Ketten des magnetrheologischen Mediums 29 in dem Spalt 28 vorbei zum Schleifkontakt 38 fließen kann.

Der Rotor 15 und der Stator 16 sind somit elektrisch isoliert, z.B. durch Kunststoffhülsen an den Wälzlager 24,25. Über den Schleifkontakt 38 wird eine Prüfspannung an den Rotor 15 angelegt, wobei kein oder nur ein geringer Prüfstrom 41 zum Stator 16 fließt, da die leitfähigen magnetrheologischen Partikel des magnetrheologischen Mediums 29 nur eine lockere Schüttung bilden.

Sofern der fließende Prüfstrom 41 zu hoch ist, also einen vorgegebenen Soll-Wert überschreitet, wird auf einen Fehler, wie beispielsweise ein verklumpendes magnetrheologisches Medium 29 zurückgeschlossen.

Hiernach wird dann ein Prüfmagnetfeld über Bestromung der Erregerspule 14 aktiviert, und die Erhöhung des Prüfstroms 41 gemessen, da sich durch das Magnetfeld elektrisch leitfähige Ketten aus magnetrheologischen Partikeln bilden in dem Spalt 28 zwischen dem Rotor 15 und dem Stator 16 der magnetrheologischen Bremse 6 bilden.

5 Sofern der Anstieg des Prüfstroms 41 nicht oder in nicht ausreichendem Maße erfolgt, wird auf einen Fehler, wie beispielsweise ein fehlendes magnetrheologisches Medium 29 zurückgeschlossen und ein entsprechendes Fehlersignal 10 erzeugt.

Die Bestromung der Erregerspule 14 kann über den Schalter 39 gesteuert werden.

10 Anhand der Zusammenschau von Figur 2 mit Figur 4 wird ein weiteres, zusätzlich zur auf der Winkellage basierenden Diagnostizierverfahren näher erläutert, wenn der die Bremswirkung repräsentierende zusätzliche Ist-Parameter 11 einem Stromverlauf bei der Bestromung einer Erregerspule 14 der magnetrheologische Bremse 6 entspricht.

15 Hierbei kann dann das zusätzliche Diagnostizieren der Anwesenheit des magnetrheologischen Mediums 29 durch seinen Einfluss auf den magn. Widerstand bzw. die Induktivität bei Kettenausbildung des magnetrheologischen Mediums 29 erfolgen. Das magnetrheologische Medium 29, beispielsweise ein magnetrheologisches Pulver, besitzt vor dem Einwirken eines Magnetfelds einen
20 höheren magnetischen Widerstand, als die ausgebildeten magnetrheologischen Ketten nach dem Einwirken des Magnetfelds auf das magnetrheologische Medium 29.

Beim Vorliegen eines entsprechenden Trigger-Signals 8, dass beispielsweise ein
25 Ausschalten des Systems (Zündung...) oder den Stillstand (Lenkwinkel konstant, z.B. Geradeaus) des Systems repräsentieren kann, wird dann in zeitlich/kausaler Abfolge die magnetrheologische Bremse 6 impulsartig für 0.1-1s angesteuert, bevorzugt über $U=\text{const}$ mit vorgegebener Spannung U nach einer Ruhezeit. Der durch die Erregerspule 14 der magnetrheologischen Bremse 6 fließende Strom $I(t)$
30 wird gemessen, z.B. induktiv oder als Spannungsabfall über einen Messwiderstand.

Wie in Figur 4 gezeigt, ist der Stromverlauf 34 für eine Situation bei einer Erregerspule 14 ohne das Vorhandensein eines magnetrheologischen Mediums 29 aufgetragen. Im Gegensatz dazu bewirkt bei dem Stromverlauf 35, der die Situation

der Erregerspule 14 bei vorhandenem magnetrheologischen Medium 29 zeigt, die mechanische Dynamik der Kettenbildung der magnetrheologischen Partikel Strom-Minimum 36 zwischen $t_1 \dots t_2$.

- 5 Dieser Stromverlauf $I(t)$, der auch in der Figur 4 skizziert ist, kann dann analysiert werden im Hinblick auf die Existenz eines Minimums 36 I_m zum Zeitpunkt t_m in einem vorgegebenen Zeitfenster $t_1 \dots t_2$. Dieses Minimum 36 ist indikativ dafür, dass die Pulverpartikel des magnetrheologischen Mediums 29 Ketten bilden, durch welche der magnetische Widerstand sinkt. Beim Fehlen des Minimums 36 und/oder
10 beim Vorliegen eines Zeitpunkts t_m außerhalb $t_1 \dots t_2$ und/oder bei einem zu hohen Wert von I_m kann ein Fehlersignal 10 ausgegeben werden. Dieser Fehler ist beispielsweise indikativ für einen Verlust an magnetrheologischen Partikel, beispielsweise durch ein Dichtungsversagen, und/oder einen Verlust ihrer magnetischen Eigenschaften, beispielsweise durch Oxidation und/oder einen
15 Verlust ihrer Beweglichkeit, beispielsweise aufgrund von Verklumpung.

- In einer vorteilhaften Weiterentwicklung der Erfindung kann es auch vorgesehen sein, dass bei einem zu niedrigem Wert I_m (absolut und/oder gegenüber dem Startwert I bei $t=0$) und/oder zu frühem Zeitpunkt t_m ein Fehlersignal 10 erzeugt und
20 bereitgestellt wird. Diese Fehlerart ist indikativ dafür, dass sich Metall-Abrieb im magnetrheologischen Spalt 28 zwischen dem Rotor 15 und Stator 16 der Bremse 6 gebildet hat, oder die Scherspaltflächen sich ungewollt berühren.

- Es kann auf vorgesehen sein, dass eine geringe Mess-Spannung oder Mess-Strom
25 für eine begrenzte Zeit an die magnetrheologische Bremse 6 angelegt wird, und der elektrische Widerstand R_0 der Erregerspule 14 der Bremse 6 ermittelt wird. Bevorzugt kann bei einem zu kleinen Wert R_0 (indikativ für einen elektrischen Kurzschluss) oder einem zu großem Wert R_0 (indikativ für einen elektrischen Kabelbruch) ein Fehlersignal 10 ausgegeben werden.

30

Die Erfindung ist nicht auf die in den Figuren dargestellten Ausführungsformen beschränkt. Die vorstehende Beschreibung ist daher nicht als beschränkend, sondern als erläuternd anzusehen. Die nachfolgenden Patentansprüche sind so zu verstehen, dass ein genanntes Merkmal in zumindest einer Ausführungsform der

Erfindung vorhanden ist. Dies schließt die Anwesenheit weiterer Merkmale nicht aus. Sofern die Patentansprüche und die vorstehende Beschreibung 'erste' und 'zweite' Merkmal definieren, so dient diese Bezeichnung der Unterscheidung zweier gleichartiger Merkmale, ohne eine Rangfolge festzulegen.

Bezugszeichenliste

	1 Bedieneinheit
	2 Kraftfahrzeug
5	3 Lenkwelle
	4 Lenkmittel
	5 Force-Feedback-Aktuator
	6 Bremse
	7 Steuereinheit
10	8 Trigger-Signal
	9 Programm
	10 Fehlersignal
	11 Ist-Parameters
	12 Soll-Parameter
15	13 Elektromotor
	14 Erregerspule
	15 Rotor
	16 Stator
	17 Spulenverschluss
20	18 Spulenträger
	19 Spulenverschluss
	20 Steer-by-Wire-System
	21 Lagerschild
	22 Lagerschild
25	23 Bremswelle
	24 Wälzlager
	25 Wälzlager
	26 Dichtung
	27 Dichtung
30	28 Spalt
	29 Medium
	30 Feldlinien
	31 Stator
	32 Rotor

- 33 RWA
- 34 Stromverlauf
- 35 Stromverlauf
- 36 Minimum
- 5 37 Prüfwiderstand
- 38 Schleifkontakt
- 39 Schalter
- 40 Schalter
- 41 Prüfstrom
- 10 42 Bremsmoment
- 43 Aktuator-Moment
- 44 Drehwinkel
- 45 Schwellenwert
- 46 Bremsmoment
- 15 47 Drehwinkel

Ansprüche

1. Bedieneinheit (1) zur Beeinflussung einer Fahrriichtung eines Kraftfahrzeugs (2) durch einen Benutzer, umfassend

5

- eine drehbar gelagerte Lenkwelle (3), welche mit einem Lenkmittel (4) koppelbar ist, sowie

10

- einen Force-Feedback-Aktuator (5), welcher mit der Lenkwelle (3) drehmomentübertragend verbunden ist, und

- einer magnetrheologische Bremse (6), die ebenfalls mit der Lenkwelle (3) drehmomentübertragend verbunden ist, und

15

- einer Steuereinheit (7) zu Steuerung der Bedieneinheit (1),

dadurch gekennzeichnet, dass

20

die Steuereinheit (7) eingerichtet ist, nach einem Trigger-Signal (8) ein Programm (9) für eine Funktionsüberprüfung der magnetrheologischen Bremse (6) aufzurufen und auszuführen, wobei die Steuereinheit (7) beim Feststellen einer Unterschreitung einer vordefinierten Bremswirkung der

25

magnetrheologischen Bremse (6) ein Fehlersignal (10) zu Verfügung stellt, wobei das Programm (9) so konfiguriert ist, dass der Force-Feedback-Aktuator (5) ein Motormoment M_{EM} bereitstellt und die magnetrheologische Bremse (6) mit einem Prüfmoment M_R beaufschlagt wird und der die Bremswirkung repräsentierende Ist-Parameter (11) die Winkellage der magnetrheologischen Bremse (6) beim Anlegen des Prüfmoments M_R ist.

30

2. Verfahren zur Funktionsüberprüfung einer magnetrheologischen Bremse (6) einer Bedieneinheit (1) zur Beeinflussung einer Fahrrichtung eines Kraftfahrzeugs (2) durch einen Benutzer, wobei die Bedieneinheit (1)

5

- eine drehbar gelagerte Lenkwelle (3), welche mit einem Lenkmittel (4) koppelbar ist, sowie
- einen Force-Feedback-Aktuator (5), welcher mit der Lenkwelle (3) drehmomentübertragend verbunden ist, und
- eine magnetrheologische Bremse (6), die ebenfalls mit der Lenkwelle (3) drehmomentübertragend verbunden ist, und
- eine Steuereinheit (7) zu Steuerung der Bedieneinheit (1), aufweist,

10

wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

15

- Empfang eines Trigger-Signals (8) zur Initialisierung der Funktionsüberprüfung,
- Ermittlung eines die Bremswirkung der magnetrheologischen Bremse (6) repräsentierenden Ist-Parameters (11) und
- Vergleich des ermittelten Ist-Parameters (11) mit einem vordefinierten Soll-Parameter (12) und
- bei Vorliegen einer vordefinierten Abweichung zwischen Ist-Parameter (11) und Soll-Parameter (12) Bereitstellung eines Fehlersignals (10),

20

25

- wobei zur Ermittlung der Bremswirkung der magnetrheologischen Bremse (6) die Steuereinheit (7) so konfiguriert ist, dass der Force-Feedback-Aktuator (5) ein Motormoment M_{EM} bereitstellt und die magnetrheologische Bremse (6) mit einem Prüfmoment M_R beaufschlagt wird und der die Bremswirkung repräsentierende Ist-Parameter (11) eine Winkellage der magnetrheologischen Bremse (6) beim Anlegen des Prüfmoments M_R repräsentiert.

30

3. Verfahren nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Trigger-Signal (8) ein Öffnen der Fahrtür des Kraftfahrzeugs (2)
repräsentiert oder ein Starten des Kraftfahrzeugs (2) repräsentiert, oder den
5 Stillstand des Kraftfahrzeugs (2) repräsentiert, ein Abschalten des
Kraftfahrzeugs (2) repräsentiert, ein Verlassen des Kraftfahrzeugs (2) durch den
Benutzer repräsentiert, oder ein Kommando eines Werkstatt-Testgeräts
repräsentiert.

10

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche 2-3,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Fehlersignal (10)
einen Fehlerspeichereintrag bewirkt und/oder
15 ein optisches und/oder akustisches Warnsignal erzeugt und/oder
eine Geschwindigkeitsbegrenzung des Kraftfahrzeugs (2) bewirkt.

20

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche 2-4,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Force-Feedback-Aktuator (5) einen Elektromotor (13) umfasst, der durch die
Steuereinheit (7) bestrombar ist, so dass die Lenkwelle (3) durch den
Elektromotor (13) mit einem Motormoment M_{EM} beaufschlagbar ist.

25

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche 2-5,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Motormoment M_{EM} 1,0001-1,2000, bevorzugt 1,0010-1,1000 mal dem
Prüfmoment M_R entspricht.

30

7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche 5-6,
dadurch gekennzeichnet, dass

der eine Winkellage der magnetrheologische Bremse (6) repräsentierende Ist-Parameter (11) mittels eines zur Kommutierung des Elektromotors (13) vorgesehenen Rotorlagesensors ermittelt wird.

5

8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche 2-7, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung des Prüfmoments M_R die magnetrheologische Bremse (6) bestromt wird.

10

9. Computerprogrammprodukt, das auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert ist, oder Computer-Datensignal, verkörpert durch eine elektromagnetische Welle, mit einem Computerprogrammcode, der geeignet ist zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 2-8.

15

10. Steer-by-Wire-System (20) für ein Kraftfahrzeug (2) umfassend eine Bedieneinheit (1) nach Anspruch 1 und/oder eine Steuereinheit (7), die eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche 2-8 auszuführen.

20

1/7

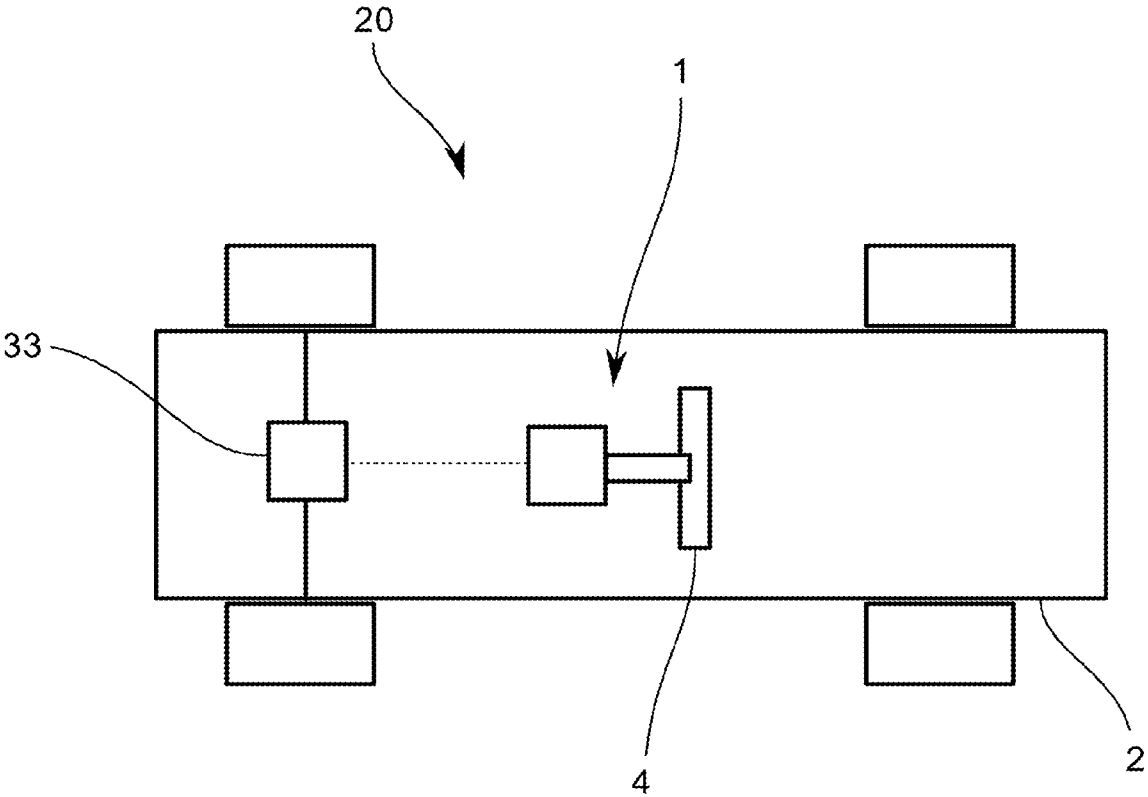


Fig. 1

2/7

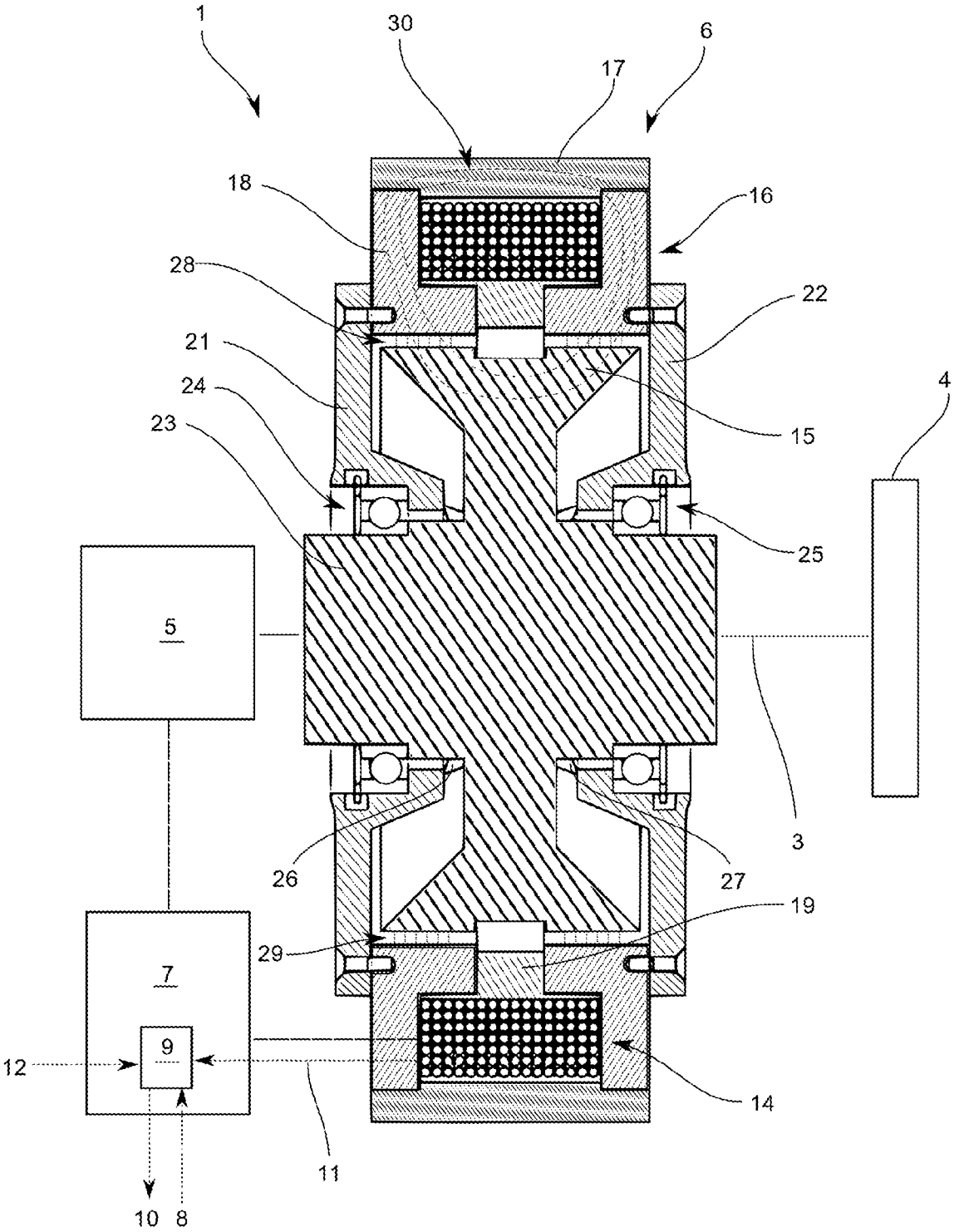


Fig. 2

3/7

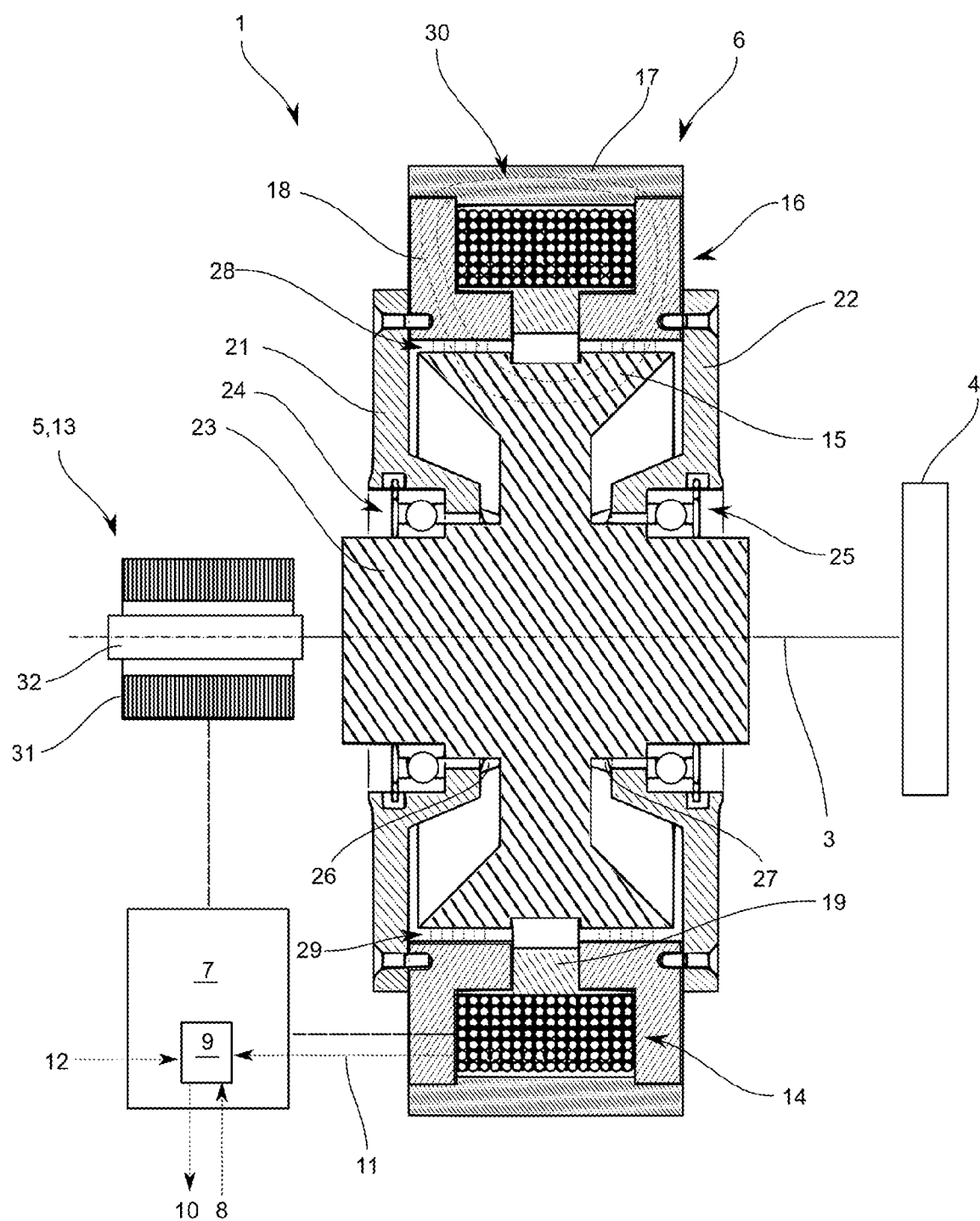


Fig. 3

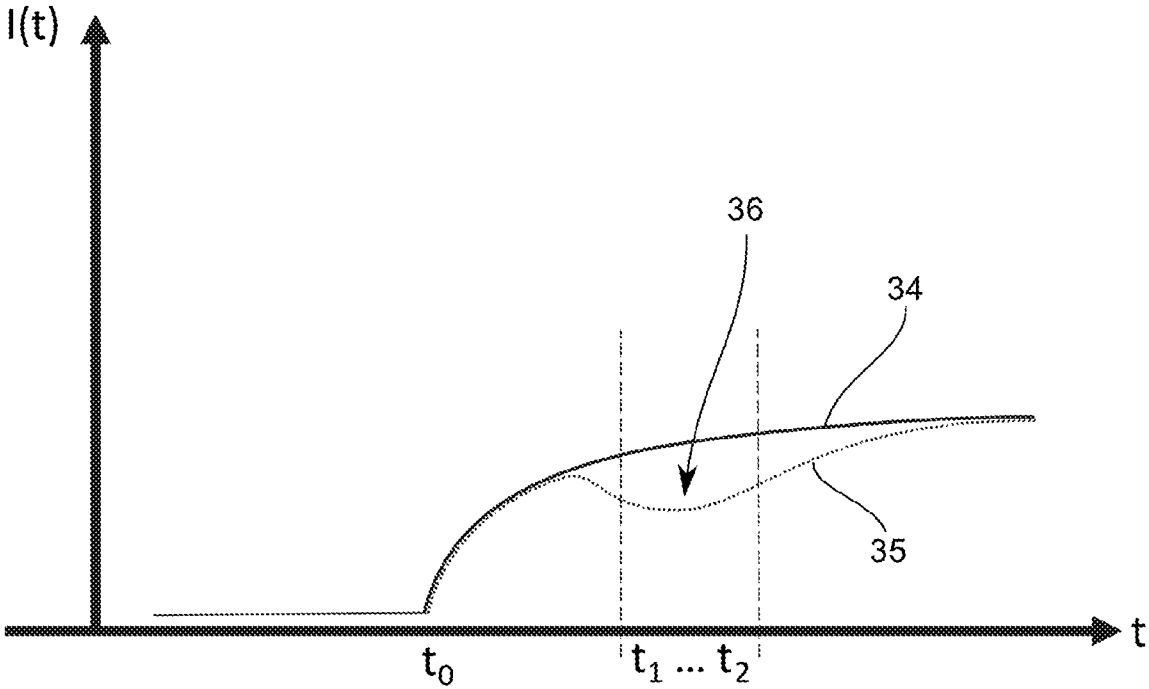


Fig. 4

5/7

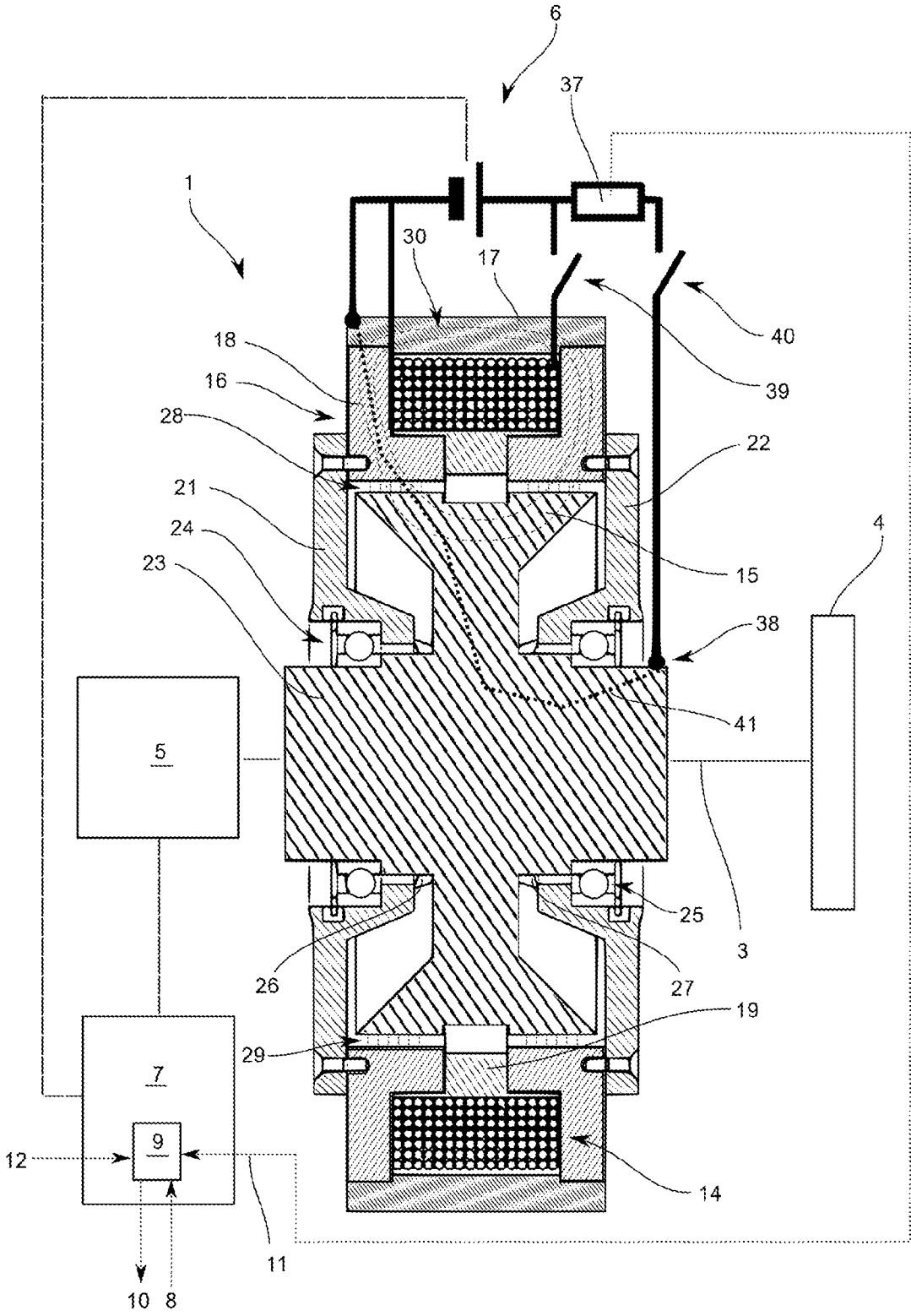


Fig. 5

6/7

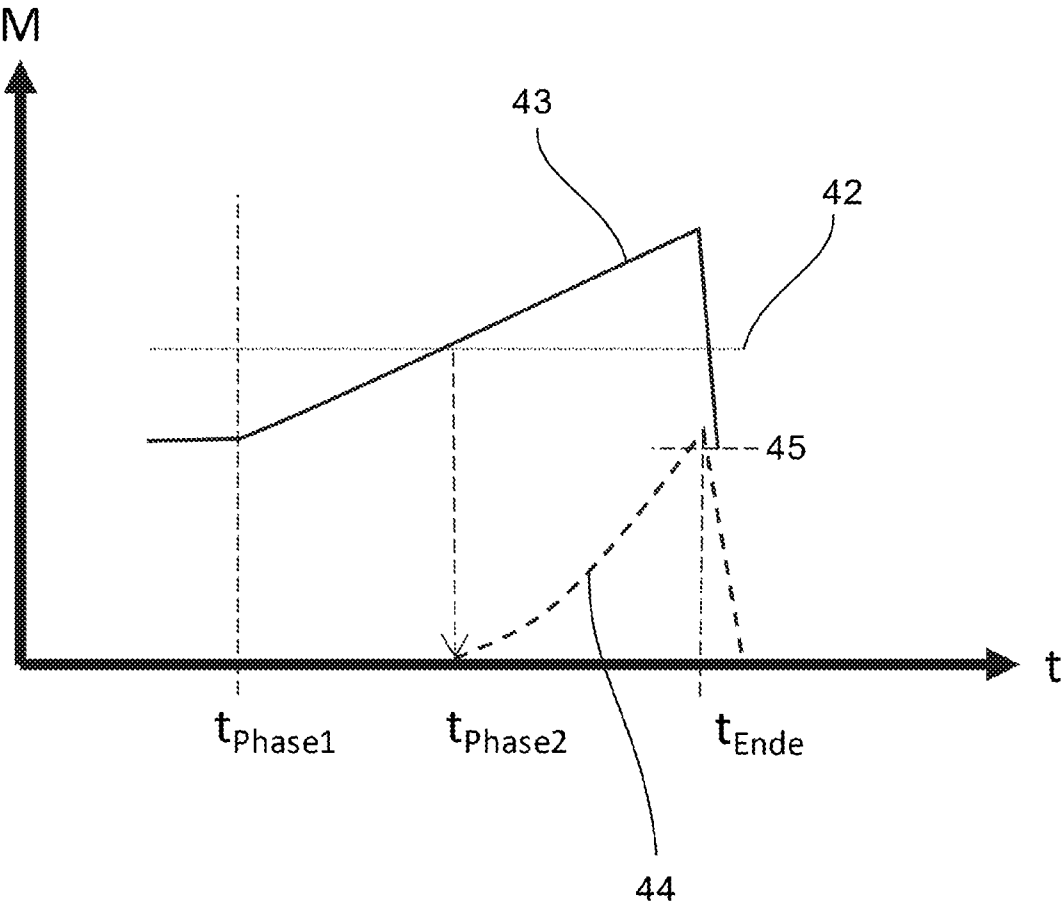


Fig. 6

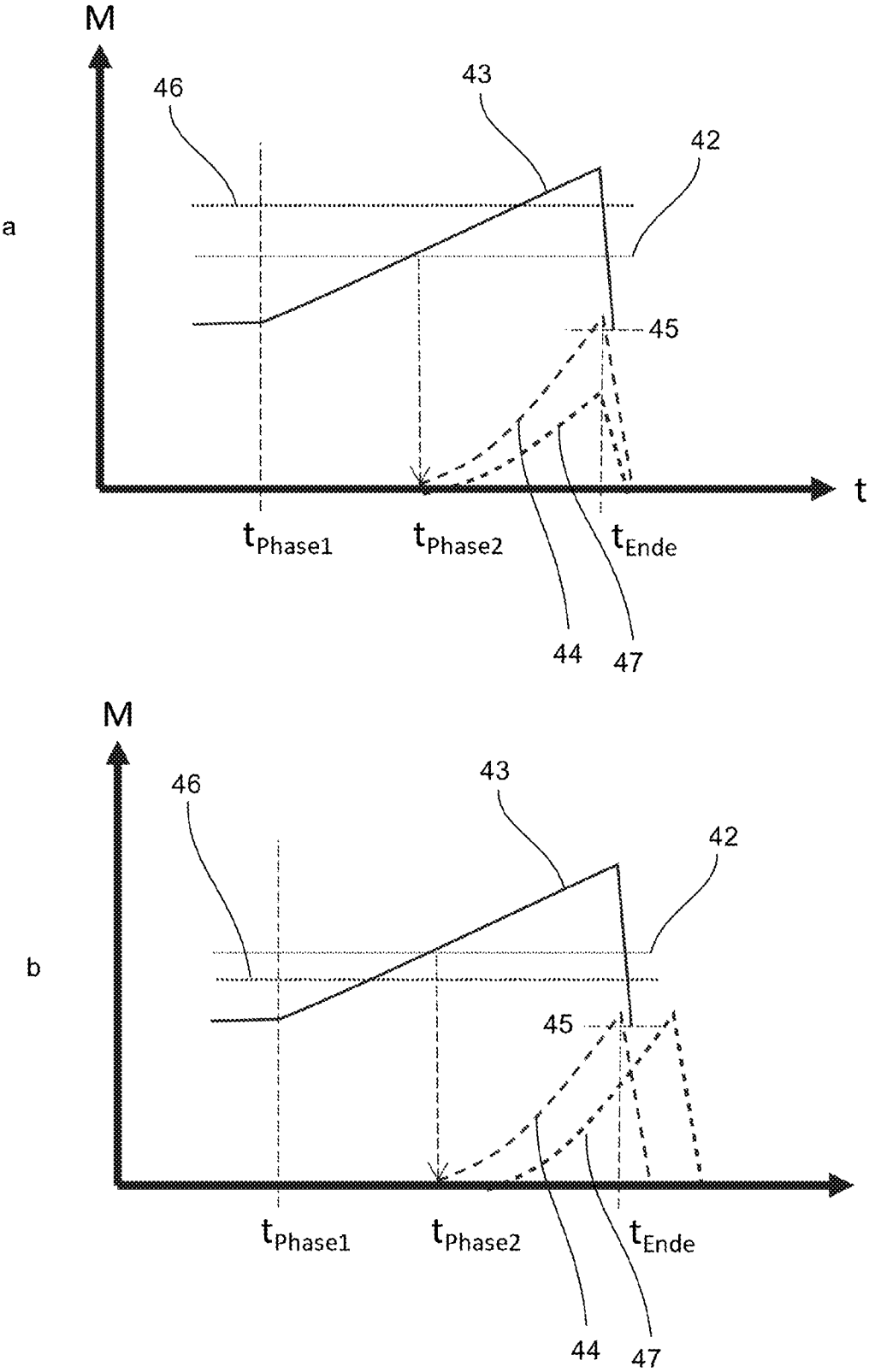


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE2024/100321

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>B62D 5/00</i> (2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B62D Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6678595 B2 (VISTEON GLOBAL TECH INC [US]) 13 January 2004 (2004-01-13) column 2, line 35 - column 3, line 42; figure 1	1-10
<div>☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.</div> <div>☒ See patent family annex.</div> <div><div><div>* 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</div><div><div>"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</div></div></div></div>		
Date of the actual completion of the international search 01 July 2024		Date of mailing of the international search report 09 July 2024
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands (Kingdom of the) Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Kulozik, Ehrenfried Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/DE2024/100321

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	6678595	B2	13 January 2004	DE	10313085	A1	30 October 2003
				GB	2386881	A	01 October 2003
				US	2003187558	A1	02 October 2003

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. B62D5/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) B62D		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 6 678 595 B2 (VISTEON GLOBAL TECH INC [US]) 13. Januar 2004 (2004-01-13) Spalte 2, Zeile 35 - Spalte 3, Zeile 42; Abbildung 1 -----	1 - 10
<div>☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen</div> <div>☒ Siehe Anhang Patentfamilie</div>		
<div><div>* 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</div><div>"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</div></div>		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 1. Juli 2024		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 09/07/2024
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Kulozik, Ehrenfried

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

PCT/DE2024/100321

Formblatt PCT/ISA/210 (Anhang Patentfamilie) (April 2005)