

(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  
30. April 2009 (30.04.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2009/053430 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
*B60T 13/74* (2006.01) *B60T 17/22* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/064358
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
23. Oktober 2008 (23.10.2008)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
10 2007 051 078.2  
24. Oktober 2007 (24.10.2007) DE  
10 2008 052 847.1  
23. Oktober 2008 (23.10.2008) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): CONTINENTAL TEVES AG & CO. OHG [DE/DE]; Guerickestrasse 7, 60488 Frankfurt (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MARON, Christof [DE/DE]; Gagernring 24, 65779 Kelkheim (DE). SCHUMANN, Marcus [DE/DE]; Am blauen Garten 17, 55246

Mainz-Kostheim (DE). ATTALLAH, Faouzi [DZ/DE]; Heinrichstrasse 141, 64287 Darmstadt (DE). SCHNEIDER, Heinz-Anton [DE/DE]; Krötenweg 4, 65527 Niedernhausen (DE).

- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: PARKING BRAKE AND METHOD FOR OPERATING THE SAME

(54) Bezeichnung: FESTSTELLBREMSE UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN DERSELBEN

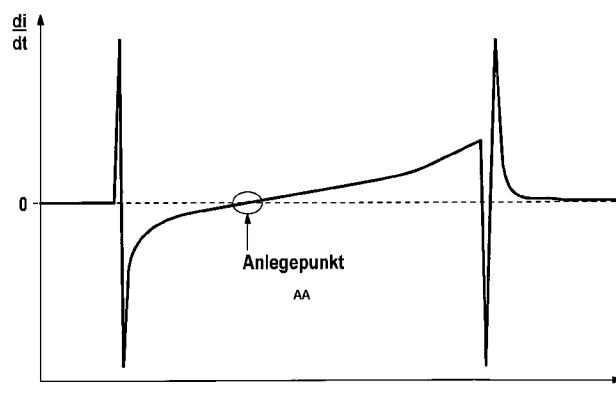


Fig. 6

AA...Guide point

(57) Abstract: The invention relates to a parking brake with an actuator (5), wherein the actuator (5) is driven by a d.c. motor (28), which can be operated in two directions and moves at least one brake jaw for applying or releasing the parking brake in the direction of or away from a rotating element over a self-locking transmission (24) of the actuator (5). Furthermore, a control unit (10) is provided for controlling or regulating the movement of the d.c. motor. The parking brake is constructed in such a manner that, when it is applied or released, usually a guide point of the brake shoe at the rotating element is exceeded. In order to be able to increase the accuracy and reliability of adjusting the force for applying the parking brake or the air space when releasing the parking brake, the control unit (10) determines the guide point by forming the first derivative with respect to time of the electric current, taken up by the d.c. motor when the parking brake is applied. In addition, an appropriate method for operating such a parking brake is described.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/053430 A1



MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

---

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Feststellbremse mit einem Aktuator (5), wobei der Aktuator (5) durch einem in zwei Richtungen betriebsfähigen Gleichstrommotor (28) angetrieben wird, der über ein selbsthemmendes Getriebe (24) des Aktuators (5) mindestens eine Bremsbacke zum Zuspinnen oder Lösen der Feststellbremse in Richtung eines Drehglieds oder davon weg bewegt. Es ist ferner eine Steuereinheit (10) für die Steuerung oder Regelung der Bewegung des Gleichstrommotors vorgesehen, wobei die Feststellbremse derart ausgebildet ist, dass beim Zuspinnen oder Lösen der Feststellbremse in der Regel ein Anlegepunkt der Bremsbacken an dem Drehglied überschritten wird. Um die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Einstellung der Zuspinnkraft beim Zuspinnen bzw. des Lüftspiels beim Lösen der Feststellbremse zu erhöhen, bestimmt die Steuereinheit (10) den Anlegepunkt durch Bildung der ersten Ableitung des beim Zuspinnen vom Gleichstrommotor (28) aufgenommenen elektrischen Stroms nach der Zeit. Es wird außerdem ein entsprechendes Verfahren zum Betreiben einer derartigen Feststellbremse beschrieben.

**Feststellbremse und Verfahren zum Betreiben derselben**

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Feststellbremse mit einem Aktuator, wobei der Aktuator durch einen in zwei Richtungen betreibbaren Gleichstrommotor angetrieben wird, der über ein selbsthemmendes Getriebe des Aktuators mindestens eine Bremsbacke zum Zuspinnen oder Lösen der Feststellbremse in Richtung eines Drehglieds oder davon weg bewegt, wobei eine Steuereinheit für die Steuerung oder Regelung der Bewegung des Gleichstrommotors vorgesehen ist, wobei die Feststellbremse derart ausgebildet ist, dass beim Zuspinnen oder Lösen der Feststellbremse in der Regel ein Anlegepunkt der Bremsbacken an dem Drehglied überschritten wird, sowie ein Verfahren zum Betreiben einer derartigen Feststellbremse.

Eine elektrisch betätigbare Feststellbremse ist beispielsweise aus DE 102 61 969 A1 bekannt. Diese weist einen Elektromotor auf, der durch eine elektronische Steuereinheit (ECU) anzusteuern ist. Die Fahrzeugbremse hat

- 2 -

einen Bremskolben, der auf wenigstens einen Reibbelag wirkt und aus einer Ruhestellung in eine Betätigungsstellung verschiebbar ist, in der der Bremskolben den Reibbelag gegen ein mit dem Rad des Kraftfahrzeugs drehfest verbindbares Drehglied der Fahrzeugbremse anlegt. Der Bremskolben ist mittels eines auf den Bremskolben wirkenden Elements einer von dem Elektromotor angetriebenen Getriebeeinheit betätigbar. Der Bremskolben kann derart verschoben werden, dass die Reibbeläge gerade an dem als Bremsscheibe ausgestalteten Drehglied anliegen. Aus der Anzahl der Motorschritte bis in diese Stellung kann nach einem Vergleich mit einem Referenzwert der Verschleiß der Bremsbeläge ermittelt werden. Wenn ein kritischer Verschleiß der Bremsbeläge erreicht ist, wird der Fahrzeugführer gewarnt. Zudem fließt der gemessene Verschleiß der Bremsbeläge in den Verschiebeweg des auf den Bremskolben wirkenden Elements in die Ruhestellung ein.

Eine elektrische Park- oder Feststellbremse in Form einer Scheiben- oder Trommelbremse hat die grundlegende Aufgabe, ein Kraftfahrzeug mittels elektrisch angetriebener Reibungsbremsen gemäß den gesetzlichen und/oder den kundenspezifischen Anforderungen sicher festzustellen. Der Fahrer eines Kraftfahrzeugs mit einer solchen elektrischen Feststellbremse muss sich dabei auf die funktionale Zuverlässigkeit dieses "brake by wire"-Bremssystems verlassen können.

Eine zentrale Kundenanforderung schreibt vor, bei jedem Zu-  
spannen mindestens eine vordefinierte Spannkraft (z.B. 18,5 kN) einzustellen, unabhängig von den Umwelteinflüssen

- 3 -

oder sonstigen Randbedingungen. Diese Forderung berücksichtigt bereits alle fahrzeug- und herstellerspezifischen Aktuatoren, insbesondere die maximal zu erwartende Steigung, den Bremsschreibendurchmesser, die Reibwerte der Beläge usw. Es muss außerdem sichergestellt werden, dass beim Lösen der elektrischen Feststellbremse ein ausreichend großes Lüftspiel eingestellt wird, so dass es im weiteren Betrieb des Kraftfahrzeugs nicht zu einer Überhitzung der Bremse kommt.

Ein Grundproblem heutiger Steuerungen/Regelungen von Feststellbremsen besteht darin, dass die Zuspannkraft nicht, wie in der Druckschrift DE 102 28 115 B4 beschrieben, direkt gemessen wird, sondern aus Kostengründen aus anderen Parametern indirekt bestimmt wird.

Um eine genaue und sichere Einstellung der erforderlichen Zuspannkraft und des Lüftspiels zu erreichen, ist es erforderlich, die Position des Kolbens bzw. der Bremsbacken genau zu kennen. Wie unten genauer erläutert wird, erfolgt die Positionsbestimmung häufig mittels eines Motormodells, dessen Konstanten nicht exakt bekannt sind und das Näherungen beinhaltet, so dass bei der Positionsbestimmung, die diese Fehler aufintegriert, Fehler entstehen, die die Genauigkeit und Zuverlässigkeit Einstellung der Feststellbremse negativ beeinflussen können.

Ein Fixpunkt bei der Bewegung des Aktuators ist der sogenannte Anlegepunkt, d.h. der Punkt, bei dem die Bremsbeläge gerade an der Bremsscheibe anliegen. Dieser Punkt wird in der Regel beim Zuspinnen und Lösen der Feststellbremse ü-

- 4 -

berschritten. Dieser Punkt kann daher für eine Positionsbestimmung genutzt werden, da sich ausgehend von diesem Punkt sowohl das erforderliche Lüftspiel als auch die gewünschte Zuspannkraft definiert einstellen lassen. Die oben beschriebenen Verfahren nach dem Stand der Technik eignen sich nicht für eine genaue Bestimmung des Anlegepunkts bzw. sind bei fehlender Kraftmessung im System der Feststellbremse nicht einsetzbar.

Es besteht somit die Aufgabe, eine Feststellbremse zu schaffen sowie ein Verfahren zum Betreiben einer derartigen Feststellbremse anzugeben, durch die eine genauere Einstellung der gewünschten Zuspannkraft beim Zuspinnen bzw. eine genauere Einstellung des Lüftspiels beim Lösen der Feststellbremse ermöglicht wird.

Die vorliegende Aufgabe wird durch ein Verfahren gelöst, bei dem durch die Steuereinheit zur Bestimmung des Anlegepunkts die erste Ableitung des beim Zuspinnen vom Gleichstrommotor aufgenommenen elektrischen Stroms nach der Zeit gebildet wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren geht davon aus, dass im Anlegepunkt die Ableitung der Zuspannkraft nach dem Zuspinnweg größer als Null wird. Ferner wird berücksichtigt, dass die Zeitableitung der Kraft über die Motordrehzahl mit der Ableitung nach dem Weg verknüpft ist. Es wird außerdem die Erkenntnis genutzt, dass die Kraft näherungsweise proportional zu dem vom Gleichstrommotor aufgenommenen Strom ist. Hieraus ergibt sich, dass die Betrachtung der erfindungsgemäßen Ableitung eine Aussage über den Anlegepunkt zulässt.

- 5 -

Insbesondere kann aus obigen Annahmen und Vereinfachungen geschlussfolgert werden, dass der Anlegepunkt als der Punkt der Bremsbackenstellung bestimmt werden kann, bei dem die Ableitung des vom Gleichstrommotor aufgenommenen elektrischen Stroms nach der Zeit größer als Null wird. Vorzugsweise wird dieser Wert der ersten Ableitung erst dann als Anlegepunkt identifiziert, wenn die Ableitung des Stroms davor negativ war. Diese Bedingung ermöglicht eine Abgrenzung des betrachteten Stromverlaufs in der Nähe des Anlegepunkts vom Stromverlauf bei Anlauf der Bewegung des Gleichstrommotors.

Ein sicheres und robustes Erkennen des Anlegepunkts durch die Steuereinheit kann mit einem bevorzugten Verfahren erfolgen, das auch bei ungewöhnlichen Stromprofilen angewendet werden kann und die folgenden Schritte aufweist:

- Festlegen eines positiven Ableitungsschwellwerts für die erste Ableitung,
- Prüfen in vorgegebenen, vorzugsweise regelmäßigen Abständen der Zuspännbewegung des Gleichstrommotors, ob die erste Ableitung des vom Gleichstrommotor aufgenommenen Stroms größer als der oder gleich dem Ableitungsschwellwert ist,
- falls die erste Ableitung größer als der oder gleich dem Ableitungsschwellwert ist, Merken der aktuellen Bremsbackenposition als potentiellen Anlegepunkt und Starten eines Zählers sowie Inkrementieren des Zählers bei der weiteren Zuspännbewegung des Gleichstrommotors um einen vorher festgelegten Inkremen-

- 6 -

tierungswert, solange die erste Ableitung größer als der oder gleich dem Ableitungsschwellwert ist, oder Zurücksetzen des Zählers auf Null, sobald bei der weiteren Zuspännbewegung des Gleichstrommotors die erste Ableitung den Ableitungsschwellwert wieder unterschreitet,

- Prüfen, ob der Zähler einen vordefinierten Zählerschwellwert überschreitet, und,
- falls der Zähler den vordefinierten Zählerschwellwert überschreitet, Festlegen des jeweiligen gemerkten potentiellen Anlegepunkts als tatsächlicher Anlegepunkt für das jeweilige Zuspännen der Feststellbremse.

In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird durch die Steuereinheit zur Steuerung oder Regelung der Bewegung des Gleichstrommotors zum Zuspännen der Feststellbremse mit einer gewünschten, vorgegebenen Zuspännkraft ein vom Gleichstrommotor aufgenommener Maximalstromwert bestimmt, das Zuspännen durch eine entsprechende Bewegung des Gleichstrommotors durchgeführt und nach Erreichen des Maximalstromwerts die zum Zuspännen der Feststellbremse führende Bewegung des Gleichstrommotors beendet.

Von Vorteil ist außerdem, wenn bei Steuerung oder Regelung der Bewegung des Gleichstrommotors zum Zuspännen und/oder Lösen der Feststellbremse durch die Steuereinheit ein hydraulischer Vordruck, welcher im Fall des Zuspännens aktuell am Kolben anliegt oder im Fall des Lösens beim vorangegan-

- 7 -

genen Zuspinnen am Kolben angelegen hat, berücksichtigt wird.

Dieses erfindungsgemäße Verfahren ist deshalb vorteilhaft, da der im System herrschende hydraulische Vordruck sich additiv mit der eingestellten Zuspinnkraft überlagert, so dass die Summe der Kräfte aus dem hydraulischen Vordruck und der eingestellten Zuspinnkraft eine resultierende Zuspinnkraft ergibt, die zu einem höheren Verschleiß der mechanischen Komponenten führt als die eingestellte Zuspinnkraft. Hinsichtlich des Lösen ist der hydraulische Vordruck insbesondere bei der Anlegepunkterkennung zu beachten. Demzufolge lässt sich die Genauigkeit der Einstellung der Zuspinnkraft bzw. des Lüftspiels weiter dadurch erhöhen, dass erfindungsgemäß der im System anliegende hydraulische Vordruck beim Zuspinnen oder Lösen der Feststellbremse berücksichtigt wird.

Es ist ebenfalls bevorzugt, dass durch die Steuereinheit beim Zuspinnen und/oder Lösen mittels eines Motormodells fortlaufend ein zurückgelegter Betätigungsweg des Gleichstrommotors ermittelt wird. Hierbei entspricht der Betätigungsweg des Gleichstrommotors auch dem Weg, den die Mutter auf der Spindel, die durch den Motor angetrieben wird, oder der Kolben zurücklegt. Aufgrund dieser vorteilhaften Vorgehensweise ist es, wie im Folgenden beschrieben wird, sehr einfach, die Berücksichtigung des hydraulischen Vordrucks beispielsweise bei der Kalibrierung der Kolbenposition auf den Anlegepunkt durchzuführen.

- 8 -

In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird durch die Steuereinheit zunächst der während des Zuspansens überschrittene Anlegepunkt oder die Position beim Erreichen des Maximalstromwerts ermittelt und eine mittels eines Motormodells ermittelte Kolbenposition unter Berücksichtigung des hydraulischen Vordrucks auf den ermittelten Anlegepunkt oder die ermittelte Position beim Erreichen des vorgegebenen Maximalstromwerts kalibriert. Hierbei ist die Kalibrierung auf den Anlegepunkt bevorzugt, wobei auf die Position beim Erreichen des Maximalstroms beispielsweise dann kalibriert wird, wenn der Anlegepunkt nicht ermittelt werden konnte.

Wie oben bereits dargestellt wurde, muss bei der realisierten Zuspanskraft auch der an dem Kolben anliegende hydraulische Vordruck berücksichtigt werden, der sich mit der eingestellten Zuspanskraft überlagert. Mit Hilfe des hydraulischen Vordrucks lässt sich, wie unten gezeigt wird, die nur mit Hilfe eines Motormodells (Beispiel siehe unten) ermittelte Kolbenposition auf den Anlegepunkt oder auf den Punkt am Ende des Zuspansvorgangs kalibrieren. Dies ist eine besonders einfache Möglichkeit der Positionskalibrierung, die eine genaue Steuerung oder Regelung der Aktuatorbewegung beim Zuspanssen oder Lösen ermöglicht.

In einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel wird durch die Steuereinheit aus dem Betätigungsweg zwischen dem ermittelten Anlegepunkt und der Betätigungsposition beim Erreichen des vorgegebenen Maximalstromwerts ein zurückgelegter Zuspansweg ermittelt und anschließend der zurückgelegte Zuspansweg mit einem der gewünschten Zuspanskraft entsprechenden Normzuspansweg verglichen, wobei bei einer

- 9 -

signifikanten Abweichung des zurückgelegten Zuspannwegs vom Normzuspannweg, nämlich dann, wenn der zurückgelegte Zuspannweg deutlich kleiner als der Normzuspannweg ist, eine Nachspannfunktion der Steuereinheit aktiviert wird. Beispielsweise kann bei einer Abweichung des zurückgelegten Zuspannwegs vom Normzuspannweg von mehr als 50%, d.h., wenn der zurückgelegte Zuspannweg deutlich kleiner als 50% des Normzuspannwegs ist, ein Nachspannen ausgelöst werden.

Dieses Ausführungsbeispiel geht davon aus, dass auch nach dem Erreichen des Abschalt-/Maximalstromwerts und dem Beenden des Zuspannvorgangs keine Information über die tatsächlich erreichte Zuspannkraft verfügbar ist. Unter der Voraussetzung, dass der Anlegepunkt, d.h. der Punkt, bei dem die Bremsbeläge gerade an der Bremsscheibe anliegen, bekannt ist, kann mit Hilfe des Vergleichs des vom Anlegepunkt bis zum Erreichen des Maximalstromwerts zurückgelegten Wegs (zurückgelegter Zuspannweg) und des anhand einer Normsattelkennlinie ermittelten Normzuspannwegs geprüft werden, ob die erforderliche Zuspannkraft aller Wahrscheinlichkeit nach auch wirklich eingestellt wurde. Der Normzuspannweg ergibt sich dabei aus der Normsattelkennlinie der Feststellbremse für die gewünschte Zuspannkraft. Die Normsattelkennlinie ist hierbei der Zusammenhang zwischen Zuspannkraft und Verformung der Feststellbremsenelemente (bzw. Kolbenweg), der sich aus der Steifigkeit der Elemente ergibt.

In einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel beinhaltet die Nachspannfunktion eine Wegregelung, wobei das Nachspannen vorzugsweise direkt nach Beendigung des Zuspannvor-

- 10 -

gangs durchgeführt wird. Dieses Vorgehen ist von Vorteil, da aus Versuchen bekannt ist, dass zum Wiederaanlaufen des Aktuators ein deutlich höherer Strom benötigt wird als der Strom, der beim letzten Zuspinnen verwendet wurde. Aus diesem Grund wird ein Nachspannkonzept realisiert, das ohne den beim oben beschriebenen Zuspinnen definierten Abschalt- oder Maximalstromwert auskommt.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel wird durch das Steuergerät zum Nachspannen eine "Knock-Funktion" verwendet, wobei auch bei diesem Ausführungsbeispiel das Nachspannen vorzugsweise direkt nach Beendigung des Zuspinnvorgangs durchgeführt wird. Die "Knock-Funktion" ist eine vorteilhafte Maßnahme beim Zuspinnen, bei der vorzugsweise abhängig von der Aktuatortemperatur, der zur Verfügung stehenden Spannung und dem erreichten Abschaltstrom am Ende eines Zuspinnvorgangs eine Anzahl von Drehmomentimpulsen auf den Aktuator gegeben wird, so dass sich eine höhere Zuspinnkraft einstellt. Ein Beispiel für eine derartige "Knock-Funktion" wird unten erläutert.

In einem weiteren vorteilhaften Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens wird durch die Steuereinheit zum Lösen der Feststellbremse eine Steuerung der Mutterbewegung in Löserichtung durchgeführt, wobei bei der Berechnung des für die Steuerung der Mutterbewegung verwendeten Sollverfahrwegs der beim letzten Zuspinnen unter Berücksichtigung des hydraulischen Vordrucks ermittelte Anlegepunkt sowie ein vorgegebenes Lüftspiel berücksichtigt wird. Die Bestimmung des Sollverfahrwegs wird somit vereinfacht und ist durch die Verwendung des ermittelten Anlegepunkts auch ver-

gleichsweise genau, da eine Integration von Fehlern so vermieden wird.

Die obige Aufgabe wird ferner durch eine Feststellbremse gelöst, bei der die Steuereinheit den Anlegepunkt durch Bildung der ersten Ableitung des beim Zuspinnen vom Gleichstrommotor aufgenommenen elektrischen Stroms nach der Zeit bestimmt. Die erfindungsgemäße Feststellbremse weist die oben hinsichtlich des erfindungsgemäßen Verfahrens genannten Vorteile auf. Die bevorzugten Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Feststellbremse entsprechen den oben zu dem erfindungsgemäßen Verfahren erläuterten Ausführungsbeispielen.

Weitere Merkmale, Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich auch aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen einer erfindungsgemäßen Feststellbremse bzw. eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Betreiben einer solchen Feststellbremse anhand von Figuren. Dabei bilden alle beschriebenen und/oder bildlich dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der vorliegenden Erfindung, auch unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Ansprüchen oder deren Rückbezügen.

Es zeigen schematisch:

- Fig. 1 einen ersten Teil der Komponenten einer erfindungsgemäßen Feststellbremse in Form einer Schaltskizze,
- Fig. 2 einen zweiten Teil der Komponenten der erfindungsgemäßen Feststellbremse gemäß Fig. 1 in einer perspektivischen Ansicht von der Seite,
- Fig. 3 den Motor und die Getriebestufen der erfindungsgemäßen Feststellbremse gemäß Fig. 1 in einer perspektivischen Ansicht von der Seite (teilweise Explosionsdarstellung),
- Fig. 4 ein Kennfeld des beim Zuspinnen zu realisierenden Maximalstromwerts (einzustellender Strom in A), um eine Zuspinnkraft von 16 kN zu erhalten, in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur (in °C) und der Eingangsspannung des Gleichstrommotors (in V) ohne Berücksichtigung des hydraulischen Vordrucks,
- Fig. 5 ein Diagramm, das die quadratische Abhängigkeit der Zuspinnkraft  $F_{caliper}$  von dem Kolbenweg  $x_{piston}$  für  $F_{caliper} \geq 0$  darstellt, und
- Fig. 6 ein Diagramm, aus dem der Verlauf der Ableitung des Motorstroms  $i$  nach der Zeit  $t$  ( $di/dt$ ) in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  beim Zuspinnen zu entnehmen ist.

## 1. Beschreibung der erfindungsgemäßen Feststellbremse

Die in Fig. 1 dargestellte erfindungsgemäße Feststellbremse für ein Kraftfahrzeug weist für jedes Rad einen Aktuator 5 auf, der jeweils über eine Steuer-/Regelleitung 7 mit einer Steuereinheit 10 verbunden ist. Fig. 1 zeigt ferner die Verbindung der Steuereinheit 10 über eine (ggf. mehrfache) Steuer-/Regelleitung 12 zum Betätigungsschalter 14 der Feststellbremse, mit dem das Zuspinnen oder Lösen der Feststellbremse durch den Fahrer des Kraftfahrzeugs initiiert werden kann. Die Steuereinheit 10 weist eine Spannungsversorgung 15 auf und ist mit den Aktuatoren 5 auch jeweils mit einer Leitung 16 verbunden, welche die Temperatur des jeweiligen Aktuators 5 an die Steuereinheit 10 übermittelt.

Den Fig. 2 und 3 ist zu entnehmen, dass jeder Aktuator 5 mit einer im hydraulisch betätigbaren Bremskolben 20 liegenden Spindel versehen ist, auf der sich die verdrehgesicherte Mutter mit der Drehbewegung der Spindel in axialer Richtung bewegt und bei Kontakt mit dem Bremskolben beim Zuspinnen eine Spannkraft auf die Bremsbeläge 22 und die nicht dargestellte Bremsscheibe aufbringt. Die Steifigkeit des Systems wird u.A. durch den Bremssattel 23 erzeugt.

Die Spindel wird über ein doppelstufiges Schneckengetriebe 24 mit einer ersten Getriebestufe 25 und einer zweiten Getriebestufe 26 von einem bürstenbehafteten, in zwei Richtungen betreibbaren Gleichstrommotor 28 angetrieben. Die erzeugte Spannkraft wird durch das Axiallager abgestützt. Durch die zweite Stufe 26 des Schneckengetriebes wird die

- 14 -

für die Parkbrems-/Feststellbremsfunktion erforderliche Selbsthemmung realisiert. Die Selbsthemmung beinhaltet, dass eine einmal vom Gleichstrommotor 28 aufgebrachte Spannkraft auch ohne Strom aufrecht erhalten wird.

Zur Einstellung der erforderlichen Zuspännkraft wird der Motorstrom gemessen und die an den Motor angelegte Spannung über die Steuereinheit 10, die mit einer nicht dargestellten H-Brücke verbunden ist, in die erforderliche Richtung festgelegt. Die Zuspännkraft selbst wird aus Kostengründen nicht gemessen. Gleiches gilt auch für die Motorposition bzw. die Drehzahl des Motors 28.

Optional kann mit Hilfe eines umgebauten Raddrehzahlsensors die Drehbewegung des Motors gemessen werden. Dies erfolgt über die Generierung von Drehzahlimpulsen, die der Sensor erfasst. Allerdings ist keine Drehrichtungserkennung vorgesehen, vielmehr muss die Motorbewegungserfassung aufgrund der Ansteuerung des Motors die Drehrichtung selbständig ermitteln. Da hierdurch nicht alle Fälle berücksichtigt werden können, z.B. wenn der Motor sich in negativer Richtung bewegt, obwohl eine positive Spannung anliegt und ein positiver Strom fließt, ist die Positionserfassung auch in diesem Ausführungsbeispiel nicht fehlerfrei möglich.

Bei den im folgenden erläuterten Ausführungsbeispielen des erfindungsgemäßen Verfahrens werden für die nachfolgend aufgeführten Elemente und physikalischen Größen der Feststellbremse die folgenden Symbole verwendet:

- 15 -

**Motor 28**

Motorkonstante:	$k_t$
Motorwicklungswiderstand (inkl. Zuleitung):	$R_{mot}$
Motorinduktivität (inkl. Zuleitung):	$L_{mot}$
Temperaturabhängigkeit Motorkonstante:	$C_{kt}$
Massenträgheitsmomente (geschätzt):	$\theta$
Norminalstrom:	$i_{nom}$
Nominalspannung:	$u_{nom}$
Nominaldrehzahl:	$n_{nom}$
Nominaldrehmoment:	$M_{nom}$

**Getriebe 24**

Übersetzung erste Stufe 25:	$\ddot{u}_1$
Übersetzung zweite Stufe 26:	$\ddot{u}_2$
Steigung/Wirkungsgrad:	$p$

**Aktuator 5**

Gesamtgetriebeübersetzung	$\ddot{u}$
Gesamtwirkungsgrad	$\eta$
Konstantreibungsmoment	$M_{R0}$

**Stattelsteifigkeit** $c$ **Kolben**

Wirksamer Durchmesser:	$d$
Wirksame Fläche:	$A_{eff}$

Kernstück der Aktuatoransteuerung der Steuereinheit 10 ist ein Wegregler, der folgende Funktionen erfüllt:

- Position im Rahmen der Möglichkeiten einregeln,

- 16 -

- Abschalten beim Erreichen der vorgegebenen Strombegrenzung (Maximalstromwert), und
- Abschalten beim Erreichen eines stationären Zustands.

Der Wegregler gibt in einem Ausführungsbeispiel der Erfindung folgende Größen für die Ansteuerung der mit dem Gleichstrommotor 28 verbundenen H-Brücke vor:

- Pulsweitenmodulation (-1 = Löserichtung, 0 = Bremsbetrieb, +1 = Zuspannrichtung)
- H-Brücken-Enable.

In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der Wegregler der Steuereinheit 10 derart gestaltet, dass er nur die Spannung ein- bzw. ausschalten kann, die Einstellung von Spannungswerten ist nicht möglich. Es liegt deshalb ein so genannter Dreipunkt-Regler vor. Das Einregeln der gewünschten Position des Kolbens bzw. der Bremsbacken geschieht dadurch, dass beim Überfahren der gewünschten Position in den Bremsbetrieb geschaltet wird. Die sich dann ergebende Regeldifferenz kann toleriert werden. Diese Form der echten Dreipunkt-Regelung wird beim Lösen und beim Nachspannen der Feststellbremse verwendet.

Weiterhin muss der Regler auch beim Erreichen der Stellgrößenbegrenzung (d.h. bei Erreichen des Maximal- bzw. Minimalstromwerts) abschalten. Hierfür wird der Strom auf die Überschreitung der vorab bestimmten Stromgrenzen überwacht. Es ist allerdings sicherzustellen, dass der hohe Anlaufstrom des Gleichstrommotors 28 hinsichtlich der Abschaltbe-

- 17 -

dingung ignoriert wird, da er grundsätzlich über den vorgegebenen Maximalgrenzen liegt. Hierfür wird die Überwachung hinsichtlich des Erreichens der Stromgrenzen erst nach Ablauf einer vorgegebenen Zeit, (z.B. 50 bis 150 ms) nach dem Einschalten des Wegreglers gestartet. Das Abschalten beim Erreichen des vorgegebenen Maximalstromwerts wird beim Zuspinnen dadurch erreicht, dass als Positionssollwert ein vom Aktuator 5 nicht zu erreichender Sollwert vorgegeben wird.

Der Wegregler der Steuereinheit 10 muss ferner beim Erreichen eines stationären Zustands (Bewegungsstillstand) abgeschaltet werden. Hier wird das Regelungsziel bzw. die Stellgrößenbeschränkung nicht erreicht. Diese Situation entsteht beim Zuspinnen beispielsweise immer dann, wenn die zur Verfügung stehende Spannung nicht für das Erreichen des vorgegebenen Maximalstromwerts ausreicht. Insbesondere ist hierbei die Erkennung des Stillstands kritisch, da das Vorliegen einer Bewegung nur geschätzt und nicht überwacht wird. Es kann daher zu Situationen kommen, in denen ein Stillstand des Aktuators 5 nicht erkannt wird. Um einen solchen Fall zu vermeiden, kann als Abschaltkriterium beispielsweise die Verlustleistung verwendet werden. Diese kann, da sie nicht direkt gemessen wird, z.B. aus dem für den jeweiligen Vorgang aufgewendeten Quadrat des Stroms ermittelt werden. Alternativ ist die Überwachung des einfachen Stromintegrals (Integral des Strombetrags) möglich, die den Vorteil bietet, dass auch lange, mit kleinen Strömen arbeitende Vorgänge erkannt und abgeschaltet werden können.

## 2. Beschreibung des Motormodells

Für die nachfolgenden Betrachtungen wird davon ausgegangen, dass die Bewegung des Gleichstrommotors mittels des bekannten Modells "Gleichstrommaschine" beschrieben werden kann. Dabei ergibt sich die Besonderheit, dass das mittels der Software zu realisierende Motormodell mit abgetasteten Werten arbeitet und zeitdiskret ist. Bei in dem Ausführungsbeispiel verwendeten Abtastzeiten von  $T_0 = 10 \text{ ms}$  wird der Strom nicht mehr schnell genug abgetastet, um dem Einfluss der Induktivität des Motors auf das Verhalten zu erfassen. Aus diesem Grund wird die Induktivität im zeitdiskreten Motormodell ignoriert. Das Motormodell vereinfacht sich demnach auf die folgende Darstellung:

$$u(k \cdot T_0) = R_{mot} \cdot i(k \cdot T_0) + \omega(k \cdot T_0) \cdot k_t \quad (\text{Gl. 1}),$$

wobei  $u$  ... die Spannung,  $\omega$  ... die Drehzahl des Gleichstrommotors sind und  $k \cdot T_0$  den aktuellen Abtastwert angeben.

Aus dieser Gleichung kann durch einfaches Umformen sowohl die aktuelle Motordrehzahl als auch fortlaufend die Motorposition (Betätigungsposition) bzw. der Betätigungsweg durch Integration der Drehzahl ermittelt werden:

$$\omega(k \cdot T_0) = \frac{u(k \cdot T_0) - R_{mot} \cdot i(k \cdot T_0)}{k_t}$$

(Gl. 1a und 1b)

$$\varphi(k \cdot T_0) = \varphi((k-1) \cdot T_0) + \omega(k \cdot T_0) \cdot T_0$$

### **3. Funktionsweise der erfindungsgemäßen Feststellbremse**

Beim Zuspinnen der erfindungsgemäßen Feststellbremse wird der Motor in Richtung Zuspinnen, das heißt beispielsweise mit einer positiven anliegenden Spannung, über die H-Brücke angetrieben. Nach dem Anlaufen des Motors sinkt der Strom schnell auf einen Minimalwert, den sogenannten Leerlaufstrom, während sich die Maximaldrehzahl einstellt. Nachdem die Beläge zur Anlage an der Bremsschreibe gekommen sind, d.h. nach Überwindung des Lüftspiels, baut sich eine Kraft auf und der Strom steigt an. Nun wird der Aktuator so lange durch den Gleichstrommotor angetrieben, bis sich ein Maximalstromwert einstellt bzw. dieser überschritten wird. Dann ist die dem entsprechenden Strom zugeordnete Zuspinnkraft erreicht.

Beim Lösen der Feststellbremse wird der Gleichstrommotor in die entgegen gesetzte Richtung, beispielsweise durch Anlegen einer negativen Spannung, betrieben. Wie unten erläutert wird, führt die Steuereinheit beim Lösen der Feststellbremse eine Steuerung durch, um den Löseweg einzustellen.

### **4. Zuspinnen der erfindungsgemäßen Feststellbremse**

Für das beschriebene Vorgehen beim Zuspinnen ist es notwendig, den Maximalstromwert für die gewünschte Zuspinnkraft vorab zu ermitteln. Dieser Stromwert hängt unter anderem von der Temperatur und der zur Verfügung stehenden Spannung ab. Die Temperatur beeinflusst den Motorwiderstand, die Motorkonstante und die Eigenschaften der Schmierung und damit

- 20 -

den Wirkungsgrad. Der Motorwiderstand nimmt mit zunehmender Temperatur zu, die Motorkonstante hingegen ab. Die Eigenschaften des Schmiermittels (Fett) werden mit abnehmender Temperatur schlechter, da es zu einer Verdickung kommt. Bei sehr hohen Temperaturen wird das Fett hingegen zu flüssig, so dass sich seine Eigenschaften auch verschlechtern. Dafür sind die Eigenschaften des Fetts über den für die Feststellbremse relevanten Temperaturbereich im Wesentlichen konstant.

Am einfachsten kann ein Maximalstromwert dadurch ermittelt werden, dass die Aktuatoreigenschaften experimentell vermessen werden und die entsprechenden Maximalstromwerte in einem Kennfeld gespeichert werden. Ein derartiges Kennfeld ist in Fig. 4 dargestellt. Es zeigt den erforderlichen Maximalstromwert für eine Zuspaukraft von 16 kN in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur und der Eingangsspannung des Motors. Das messtechnisch erfasste Kennfeld wurde jedoch ohne die Berücksichtigung des hydraulischen Vordrucks aufgenommen.

In einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung wird für bestimmte hydraulische Vordrücke, die am Kolben des Aktuators anliegen, jeweils ein in Fig. 4 gezeigtes Kennfeld ermittelt und die so erzeugten Kennfelder für die Ermittlung des Maximalstromwerts abhängig vom hydraulischen Vordruck sowie Umgebungstemperatur und Eingangsspannung in der Steuereinheit der erfindungsgemäßen Feststellbremse zur Verfügung gestellt. Für hydraulische Vordrücke, die zwischen den Werten liegen, für die Kennfelder existieren, kann der entsprechende Wert für den Maximalstrom interpoliert werden.

Um nicht für jeden neuen Baustand des Aktuators Kennfelder unter Berücksichtigung des hydraulischen Vordrucks neu aufnehmen zu müssen, was zeitaufwendig ist, wird im Folgenden ein Verfahren dargestellt, mit dem der Abschalt-/Maximalstromwert algorithmisch bestimmt werden kann.

Die gewünschte Zuspännkraft  $F_{epb}$  in Abhängigkeit von dem Maximalstromwert  $i_{max}$  ergibt sich bei konstant angenommenen Wirkungsgraden im Wesentlichen aus dem folgenden Zusammenhang zwischen erreichter Zuspännkraft und sich einstellendem Strom am Ende der Bewegung:

$$F_{epb} = \frac{(i_{max} \cdot k_t - M_{R0}) \cdot \eta \cdot \ddot{u} \cdot 2 \cdot \pi}{p} \quad (\text{Gl. 2}).$$

Die eingestellte, gewünschte Zuspännkraft hängt somit von geometrischen Daten (Spindelsteigung und Übersetzungsverhältnis  $\ddot{u}$ ) des Aktuators, von der Motorkonstanten  $k_t$ , vom Gesamtwirkungsgrad  $\eta$  und der zu berücksichtigenden Konstantreibung  $M_{R0}$  ab. Der Zusammenhang zwischen eingestellter Maximalkraft und dem Maximalstromwert ist somit linear.

Während die geometrischen Daten des Aktuators bekannt sind und als konstant angenommen werden können, ist die Motor-konstante temperaturabhängig. Der Wirkungsgrad des Aktuators und die Konstantreibung ändern sich nicht nur in Abhängigkeit von der Temperatur (Schmiermittel) sondern sind auch abhängig vom Verschleiß, d.h. sie sind beispielsweise abhängig von der Anzahl der Betätigungen der Feststellbremse.

- 22 -

Wenn im System ein hydraulischer Vordruck  $p_{hyd}$  am Kolben mit der wirksamen Fläche  $A_{eff}$  anliegt, so überlagert sich dieser mit der eingestellten Zuspaukraft nach (Gl. 2). Dies kann wie folgt dargestellt werden:

$$F_{epb} = \frac{(i_{max} \cdot k_t - M_R) \cdot \eta \cdot \ddot{u} \cdot 2 \cdot \pi}{p} + p_{hyd} \cdot A_{eff} \quad (\text{Gl. 3}).$$

Aus einer Umstellung von (Gl. 3) nach  $i_{max}$  ergibt sich der erfindungsgemäÙe Zusammenhang, der den hydraulischen Vordruck berücksichtigt:

$$i_{max} = \frac{(F_{epb} - p_v \cdot A_{eff}) \cdot p_{Sp}}{\eta \cdot \ddot{u} \cdot \pi \cdot k_t} + \frac{M_R}{k_t} = (F_{epb} - p_v \cdot A_{eff}) \cdot m(\eta) + b(\eta) \quad (\text{Gl. 4}).$$

Der Maximalstromwert setzt sich in (Gl. 4) aus zwei Komponenten zusammen. Die erste Komponente erzeugt die eigentliche Kraft unter der Randbedingung, dass die Konstantreibung Null ist. Die zweite Komponente berücksichtigt den Anteil des Stroms, der gebraucht wird, um überhaupt eine Drehung des Motors zu bewirken. Beide Komponenten hängen nicht nur vom Verschleiß sondern auch über die Motorkonstante von der Temperatur ab.

Bei der Berechnung des Maximalstromwerts muss berücksichtigt werden, dass die erste Komponente niemals kleiner als Null werden darf. Dies bedeutet, dass immer

$$F_{epb} \geq p_v \cdot A_{eff} \quad (\text{Gl. 5})$$

gelten muss. Somit müssen Kraftanforderungen, die kleiner sind als der momentan herrschende hydraulische Vordruck (Pedaldruck), entsprechend angehoben werden und in entsprechenden Kennfeldern für die Berechnung von  $i_{max}$  zur Verfügung gestellt werden.

Die zunächst unbekannt Parameter  $m(\eta)$  und  $b(\eta)$  aus (Gl. 4) können in einem Ausführungsbeispiel der Erfindung durch entsprechende Versuche vorab ermittelt werden.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel kann  $b(\eta)$ , da es den Stromanteil repräsentiert, der für die Bewegung des Motors an sich gebraucht wird, durch den bei einem Zuspännvorgang ermittelten Leerlaufstrom  $i_{leerlauf}$  als guten Schätzwert ersetzt werden. Hieraus ergibt sich:

$$i_{max} = (F_{epb} - p_v \cdot A_{eff}) \cdot m(\eta) + i_{leerlauf} \quad (\text{Gl. 6}).$$

In einem weiteren Ausführungsbeispiel kann auch der Parameter  $m(\eta)$  der krafterzeugenden Komponente in Abhängigkeit von  $i_{leerlauf}$  ausgedrückt werden ( $m(\eta) = m(i_{leerlauf})$ ).

Zur Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit des Maximalstromwerts wird eine Korrekturkomponente  $i_{korrr}(T)$  berücksichtigt, die beispielsweise die in der unten stehenden Tabelle aufgeführten Werte (in A) für die angegebenen Temperaturbereiche T1 bis T4 (Aktuatortemperatur) aufweist:

- 24 -

	T1	T2	T3	T4
$i_{korr}$ (A)	4	2	0	2

Das Kennfeld wird dabei in folgenden Felder unterteilt:

- T1:  $-40^{\circ}\text{C} < T < -20^{\circ}\text{C}$
- T2:  $-20^{\circ}\text{C} < T < 0^{\circ}\text{C}$
- T3:  $0^{\circ}\text{C} < T < 80^{\circ}\text{C}$
- T4:  $80^{\circ}\text{C} < T < 100^{\circ}\text{C}$

Alternativ kann auch eine Korrektur durchgeführt werden, die zusätzlich zur Temperaturabhängigkeit die am Gleichstrommotor anliegende Spannung (Spannungsbereiche U1 bis U4) berücksichtigt:

$i_{korr}$ (A)	T1	T2	T3	T4
U1	6	3	2	4
U2	5	2	1	3
U3	4,5	1	0	2
U4	3,5	0	-1	1

Das Kennfeld wird dabei in folgenden Felder unterteilt:

- T1:  $-40^{\circ}\text{C} < T < -20^{\circ}\text{C}$       U1:  $8\text{ V} < u < 10\text{ V}$
- T2:  $-20^{\circ}\text{C} < T < 0^{\circ}\text{C}$       U2:  $10\text{ V} < u < 12\text{ V}$
- T3:  $0^{\circ}\text{C} < T < 80^{\circ}\text{C}$       U3:  $12\text{ V} < u < 14\text{ V}$
- T4:  $80^{\circ}\text{C} < T < 100^{\circ}\text{C}$       U4:  $14\text{ V} < u < 16\text{ V}$

Aus obigem Modell folgt, dass der Korrekturwert Null für den Nominalfall gilt, nämlich  $u = 13\text{ V}$  und Raumtemperatur.

- 25 -

Beide Tabellen können auch wesentlich mehr Stützstellen beinhalten. Zwischen den angegebenen Stützstellen wird linear interpoliert.

Für die Bestimmung des richtigen Korrekturwerts muss die Temperatur des Aktuators bekannt sein. Sollte eine Messung der Temperatur direkt am Aktuator aus Kostengründen nicht möglich sein, kann anstelle der Temperatur des Aktuators insbesondere für die Bereiche T1 bis T3 die Umgebungstemperatur verwendet werden. Sollte die Aktuatorortemperatur größer sein als die gemessenen Umgebungstemperaturen, so wirkt sich das auf die eingestellte Zuspännkraft nur dahingehend aus, dass diese zu groß wird. In Bezug auf die Fahrzeugsicherheit ist dies aber tolerierbar.

Der Bereich T4 kann nicht durch eine Messung der Umgebungstemperatur ermittelt werden. Die Temperaturen aus dem Bereich T4 ergeben sich allerdings auch nur dann, wenn der Aktuator sich selbst sehr stark aufheizt (crazy-driver) oder durch eine heiße Bremsanlage von außen aufgeheizt wird. Diese Fälle können jedoch durch Temperaturmodelle abgedeckt werden. Der Bereich T4 wird demnach durch eine Kombination einer Umgebungstemperaturmessung und zwei Temperaturmodelle (Selbstaufheizung des Aktuators und Aufheizung durch Bremsanlage) realisiert.

Aus obigen Betrachtungen zur Temperaturkorrektur und ggf. Spannungskorrektur ergibt sich die folgende Gleichung für die Bestimmung des Abschaltstroms:

- 26 -

$$i_{\max} = (F_{epb} - p_v \cdot A_{eff}) \cdot m(\eta) + i_{leerlauf} + i_{korr}(T, \text{ggf. } u) \quad (\text{Gl. } 7).$$

In einem weiteren Ausführungsbeispiel kann der Verschleiß durch eine Abhängigkeit der Parameter  $m(\eta)$  bzw.  $i_{korr}$  von der Anzahl der bisher erfolgten Betätigungen  $n$  des Aktuators abhängig gestaltet werden. Das bedeutet

$$m(\eta) = g(n) ; i_{korr} = f(T, \text{ggf. } u, n) \quad (\text{Gl. } 9).$$

Da auch am Ende oder nach Abschluss des Zuspännvorgangs die tatsächlich aufgebrachte Kraft nicht explizit bekannt ist, kann in einem bevorzugten Ausführungsbeispiel, um zu überprüfen, ob die erreichte Zuspännkraft ausreichend ist und dem vorgegebenen Wert entspricht, der beim Zuspännen zurückgelegte Zuspännweg  $x_{clamp}$ , d.h. der Betätigungsweg ausgehend vom Anlegepunkt ermittelt werden. Wenn die Sattelkennlinie der Feststellbremse gerade der "Normsattelkennlinie" entspricht, kann aus dieser anhand der gewünschten Zuspännkraft ein Normzuspännweg ermittelt werden. Bei einem Vergleich des tatsächlich zurückgelegten Zuspännweges mit dem Normzuspännweg kann abgeschätzt werden, ob die erreichte Zuspännkraft auch der gewünschten Zuspännkraft entspricht. Sollte der eingestellte Zuspännweg deutlich kleiner sein als die Normwegdifferenz, so wird in einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel durch die Steuereinheit eine Nachspannfunktion aktiviert.

Bevorzugt wird das Nachspannen ohne das explizite Ausschalten der H-Brücke direkt im Anschluss an den Zuspännvorgang durchgeführt, da aus Versuchen bekannt ist, dass zum Wider-

- 27 -

anlaufen des Aktuators ein deutlich höherer Strom benötigt wird, als beim letzten Zuspinnen. Der direkte Anschluss der Nachspannfunktion an den Zuspinnvorgang hat den Vorteil, dass nicht noch einmal ein sehr hoher Einschaltstrom auftritt.

Eine Ausführungsmöglichkeit zum Nachspannen besteht darin, mittels einer Wegregelung ein weiteres Zuspinnen der Feststellbremse durchzuführen. Hierbei geht man von der beim Ende des Zuspinnvorgangs vorliegenden Position aus. Die Wegregelung verwendet ausgehend hiervon einen Positionswert, der einen um  $dx$  größeren Wert aufweist als die Position am Ende des Zuspinnvorgangs. Bei der um  $dx$  größeren Position wird davon ausgegangen, dass die Bremsbacken mit einer entsprechend größeren Kraft zugespant werden. Der Wegregler versucht beim Nachspannen, den um  $dx$  größeren Wert in Zuspinnrichtung einzustellen. Hierbei wird die für den eigentlichen Zuspinnvorgang verwendete Grenze (Maximalstromwert) nicht angewendet, jedoch ein weiterer ("aufgeweichter") Stromgrenzwert vorgegeben, der überwacht wird. Der weitere Stromgrenzwert ist charakteristisch für den Zustand, bei dem der Aktuator am Ende seiner physikalischen Möglichkeiten ist, d.h. der Aktuator überschreitet einen absoluten Maximalstromwert nicht. Das Nachspannen wird durch die Steuereinheit entweder beim Erreichen des um  $dx$  größeren Weges gestoppt oder, wenn dieser nicht erreicht wird, beim Erreichen des weiteren Stromgrenzwerts.

Eine weitere Möglichkeit, eine Nachspannfunktion zu realisieren, besteht in der sogenannten "Knock-Funktion". Diese spezielle Variante des Nachspannens kann in Abhängigkeit

von der Aktuatortemperatur, der zur Verfügung stehenden Spannung und dem erreichten Abschaltstrom am Ende des Zuspännvorgangs durchgeführt werden. Hierbei wird eine Anzahl von Drehmomentimpulsen auf den Aktuator gegeben, so dass sich eine höhere Zuspännkraft einstellt. Zur Erzeugung der Drehmomentimpulse wird die H-Brücke für eine definierte Zeit eingeschaltet. Danach wird eine vorgegebene Zeit gewartet (z.B. 150 ms). Wird während dieser Einschaltphase nach Ablauf einer minimalen Zeit (z.B. 50 ms) der maximal vorgegebene Strom (weiterer Stromgrenzwert oder Maximalstromwert) überschritten, so wird dieser Drehmomentimpuls abgebrochen und wieder die bestimmte, vorgegebene Zeit gewartet. Beispielsweise kann die folgende Anzahl von Drehmomentimpulsen (auch "Knocks" genannt) angewendet werden:

$$n_{Knocks} = trunc \left( \frac{|T|}{10^{\circ C}} + 1 \right) \quad (Gl. 10).$$

Die Impulse  $n_{Knocks}$  sind jeweils 150 ms lang und folgen alle 300 ms aufeinander.

Die „Knock-Funktion“ kann auch analog während des „normalen“ Zuspännvorgangs, insbesondere an dessen Ende, durchgeführt werden. Ihre Anwendung ist somit nicht auf das Nachspannen beschränkt.

Für die Bestimmung des Maximalstromwerts wird, wie oben dargestellt, der aktuelle Leerlaufstrom berücksichtigt. Der Leerlaufstrom wird beim Überfahren des Lüftspiels vermessen. Als Realisierung zur Vermessung des Leerlaufstroms kann das betragsmäßige Minimum des Stroms beim Zuspänn

- 29 -

als Leerlaufstromwert verwendet werden. Hierdurch muss der Anlaufstrom nicht gesondert berücksichtigt werden und es wird auch dann ein Ergebnis ermittelt, wenn kein Lüftspiel vorhanden ist. Das Minimum des Stroms kann in diesem Fall ebenfalls als Ersatzwert verwendet werden, wobei der so gefundenen Wert für den Leerlaufstrom auf einen Maximalwert zu begrenzen ist.

Zur Bestimmung der zur Maximalstromwertberechnung verwendeten Temperatur muss aus den gemessenen Aktuatortemperaturen diejenige Temperatur gewählt oder berechnet werden, die letztendlich zur Berechnung des Maximalstromwerts verwendet wird. Insbesondere liegen bei der Verwendung von Feststellbremsen auf beiden Seiten des Kraftfahrzeugs zwei Aktuatoren vor, bei welchen Temperaturmessungen durchgeführt werden. Sollten die Messungen an beiden Aktuatoren nicht erkennbar falsch sein, so wird in vorteilhafter Weise für die Berechnung des Abschaltstroms diejenige Temperatur gewählt, die von beiden einen höheren Abschaltstrom erzeugen würde. Sollte eine der beiden Temperaturmessungen erkennbar falsch sein, so wird der Messwert der intakten Messung zur Bestimmung des Maximalstromwerts herangezogen. Falls beide Messungen der Temperatur erkennbar falsch sind, so kann eine "worst case"-Temperatur, beispielsweise  $-40^{\circ}\text{C}$ , für die Berechnung des Maximalstromwerts herangezogen werden.

Alternativ zur Verwendung einer Strombegrenzung, um die gewünschte Zuspännkraft einzustellen, kann die gewünschte Zuspännkraft über einen vorher ermittelten Zuspännweg eingestellt werden. Hierbei wird der unten im Zusammenhang mit dem Lösen der Feststellbremse diskutierte Zusammenhang zwi-

- 30 -

schen Zuspannkraft und Kolbenweg bzw. der Verformung des Bremssattels und der Beläge genutzt werden. Dieser Zusammenhang ergibt sich aus der Steifigkeit des Systems und setzt sich im Wesentlichen aus der Steifigkeit der Bremsfaust (material- und geometrieabhängig) und der Bremsbeläge zusammen. Diese Steifigkeit spielt allerdings erst eine Rolle, wenn der Anlegepunkt erreicht ist. Demzufolge ist die Voraussetzung für die Anwendung dieses Ausführungsbeispiel der Erfindung eine sichere Erkennung des Anlegepunkts, die analog zu der unten im Kapitel "Lösen der Feststellbremse" erläuterten Anlegepunkterkennung unter Berücksichtigung des hydraulischen Vordrucks erfolgt. Analog zu unten stehendem Verfahren kann auch die Positionskalibrierung durchgeführt werden, die zur Kalibrierung des Kennlinienzusammenhangs zwischen Zuspannkraft und Kolbenweg dient.

Bei der Bestimmung des durch den Aktuator zurückzulegenden Wegs für eine bestimmte, gewünschte Zuspannkraft muss weiterhin berücksichtigt werden, dass die Steifigkeit des Aktuators Änderungen unterliegt, die beispielsweise aus dem Zustand der Bremsbeläge (Verschleiß, Temperatur, Temperatur der Bremsscheibe) herrühren. Um diese Änderungen zu berücksichtigen, wird entweder mit einer "worst-case-Kennlinie" gearbeitet, die aufgrund von Sicherheitsbetrachtungen die genannten Änderungen abdeckt. Allerdings führt eine solche "worst-case-Kennlinie" zu einer erhöhten mechanischen Belastung des Aktuators. Alternativ können für die verschiedenen Änderungsfälle unterschiedliche Kennlinien ermittelt und in der Steuereinheit hinterlegt werden (z.B. Scheibentemperaturmodell mit schneller Änderung, Modell für Ver-

schleiß oder Anzahl der Bremsbetätigungen mit langsamer Änderung bei gelegentlichem Vermessen). Abhängig von der jeweiligen Änderung kann dann die jeweils gültige Kennlinie ausgewählt und bei der Ermittlung des zurückzulegenden Wegs des Aktuators angewendet werden.

Grundsätzlich lassen sich die Zuspannkonzepte "Maximalstromwertbegrenzung" und "Zuspannwegbegrenzung" auch kombinieren. Beispielsweise kann ein Konzept als Masterkonzept ausgewählt werden und mit dem jeweils anderen Konzept überprüft werden. So ist es sinnvoll, nach einem Zuspannen gemäß "Maximalstromwertbegrenzung" zu überprüfen, ob sich der gefahrene Weg im Rahmen des Konzepts "Zuspannwegbegrenzung" bewegt. Ggf. kann eine Nachspannfunktion (siehe oben) der Steuereinheit aktiviert werden.

Auch kann es durch Ausfall von Sensoren erforderlich werden, das jeweils andere Zuspannkonzept anzuwenden. Fällt beispielsweise der Temperatursensor aus, so kann alternativ das Konzept "Zuspannwegbegrenzung" oder das Konzept "Maximalstromwertbegrenzung" mit einer "worst-case-Temperatur" bis zur Reparatur des Sensors verwendet werden.

## **5. Lösen der erfindungsgemäßen Feststellbremse**

Zum Lösen der Feststellbremse wird durch den Aktuator rein gesteuert ein bestimmter Verfah- oder Löseweg  $\varphi_{total\_release}$  in Löserichtung zurückgelegt. Hierbei wird der Sollverfahweg aus dem aktuellen Abstand zur Anlegeposition (ohne Vor- druck)  $\varphi_{clamp}$  und einem vorzugebenden Lüftspiel  $\varphi_{airgap\_set}$

- 32 -

(hierbei ist das maximale Lüftspiel des Kolbens, das durch die Position der Antriebsmutter im Kolben definiert wird, gemeint) ermittelt.

Es wird daher folgender Gesamtweg durchfahren:

$$\varphi_{total\_release} = \varphi_{clamp} + \varphi_{airgap\_set} \quad \varphi_{airgap\_set} > 0 \quad (\text{Gl. 11})$$

In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel weist die Steuereinheit zusätzlich eine sogenannte "Disengage-Funktion/Engage-Funktion" auf. Mittels der Disengage-Funktion wird zusätzlich zu dem oben definierten Lüftspiel ein erweitertes Lüftspiel  $\varphi_{total\_release} + \varphi_{erw}$  vorgegeben und durch den Wegregler angefahren. Mittels der Engage-Funktion wird durch die Steuereinheit ein Zurückfahren auf das ursprünglich eingestellte Lüftspiel  $\varphi_{total\_release}$  gesteuert. Mittels der Engage-/Disengage-Funktionen kann z.B. bei einer erkennbaren Erhitzung der Bremse ohne Bremswunsch ein sicheres Lüften der Feststellbremse realisiert werden. Hierbei weist das Steuergerät eine Notfunktion auf, die auch aus der "Disengage-Position" mit erweitertem Lüftspiel ein Zuspinnen vorsieht, so dass der Anlegepunkt sicher erkannt werden kann.

Die Position der Bremsbacken oder die Position des Aktuator-Kolbens ist in der Regel, beispielsweise bei Anwendung obigen Motormodells (Gl. 1) zur Bestimmung der Position nicht genau bekannt, da das Modell Vereinfachungen enthält und auch die Motorparameter nicht präzise bekannt sind. Die durch die Ungenauigkeiten und Vereinfachungen entstandenen

- 33 -

Fehler werden bei der Bestimmung der Position integriert und führen unter ungünstigen Umständen über mehrere Zuspännvorgänge schnell zu Abweichungen, so dass das sichere Einstellen des Lüftspiels, das auf einer reinen Positionsregelung beruht, nicht mehr gewährleistet ist. Aus diesem Grund wird in einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung die durch das Modell ermittelte Position des Kolbens oder der Bremsbacken bei jedem Zuspännen kalibriert. Kalibrieren heißt hierbei, dass der aktuell mit Hilfe eines Motormodells ermittelte Positionswert korrigiert wird.

Für die Kalibrierung der Position wird ein Bremssattelsteifigkeits-Modell verwendet, welches kennlinienbasiert oder parametrisch vorliegen kann. Unter der Annahme, dass die Zuspännkraft quadratisch von dem zurückgelegten Weg abhängt, sofern der Weg größer oder gleich Null ist, und keine Kraft aufgewendet werden muss, wenn der Weg kleiner als Null ist, und unter der weiteren Annahme, dass am Anlegepunkt lediglich eine Kraft verursacht durch den hydraulischen Vordruck anliegt, kann folgender parametrischer Zusammenhang abgeleitet werden, der zur Positionskalibrierung genutzt werden kann ( $p_{piston}$  ... Druck am Kolben):

$$x_{cp} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot p_{piston}}{c}} \quad (\text{Gl. 12})$$

Demnach kann bei bekanntem Anlegepunkt eine Kalibrierung der Position auf den Anlegepunkt mit dem in (Gl. 12) angegebenen Zusammenhang vorgenommen werden, indem der bekannte

- 34 -

Anlegepunkt mit dem errechneten Positionswert  $x_{cp}$  verglichen wird.

Der Zusammenhang zwischen Zuspännkraft und vom Aktuator zurückgelegtem Weg wird noch einmal anhand des in Fig. 5 dargestellten Diagramms veranschaulicht. Die gepunktete Linie symbolisiert die Situation am Anlegepunkt, an dem der zurückgelegte Weg  $x_{cp}$  dem hydraulischen Vordruck  $F_{hydr}$  entspricht. Über diesen Zusammenhang können die übrigen Positionen der Kennlinie entsprechend kalibriert werden.

Alternativ kann auch auf den Punkt des zurückgelegten Wegs, in dem sich der Maximalstromwert, d.h. die gewünschte Zuspännkraft, einstellt, kalibriert werden. Dieser Punkt ist durch die gewünschte Zuspännkraft über das Motormodell ebenfalls zugänglich.

Sollte der Vordruck nicht verfügbar sein, so ist dennoch eine Positionskalibrierung erforderlich. In diesem Fall kann in einem weiteren Ausführungsbeispiel ein fest vorgegebener Wert für den Vordruck (z.B. 40 bar) verwendet werden. Gegebenenfalls muss dann bei der Vorgabe des Lüftspielwegs  $\varphi_{airgap\_set}$  ein etwas größerer Wert eingestellt werden, so dass es auch dann nicht zu einem Schleifen der Bremse kommt, wenn der tatsächliche Vordruck deutlich größer als der angenommene Wert war.

In einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel kann der verwendete Vordruck abhängig von einer ggf. vorhandenen Hangneigung gewählt werden. Alternativ kann der verwendete

- 35 -

Vordruckwert von der Sattelkennlinie abhängig bestimmt werden. Bei einer quadratisch verlaufenden Kennlinie kann beispielsweise der Vordruck verwendet werden, der dem halben Verfahrweg entspricht. Bei einem maximalen Druck von 200 bar könnte somit beispielsweise ein Vordruck von etwa 50 bar verwendet werden.

Voraussetzung für die Positionskalibrierung ist die Kenntnis des tatsächlichen Anlegepunkts, der sich im Laufe des Betriebs der Feststellbremse verschiebt und der mit der erfindungsgemäßen Feststellbremse ohne Kraftmessung nicht direkt gemessen werden kann.

Durch theoretische Betrachtungen ausgehend von der Erkenntnis, dass am Anlegepunkt die Ableitung der Zuspaukraft nach dem Zuspauweg größer als Null wird, ergibt sich als Kriterium für die Bestimmung des Anlegepunkts der Zusammenhang:

$$\frac{di}{dt} > 0$$

Eine robuste technische Umsetzung zur Anlegepunkterkennung entsprechend obigen Zusammenhangs berücksichtigt die folgenden störenden Randbedingungen:

- verrauschte Signale (Strom  $i$  und Spannung  $u$ )
- Temperaturabhängigkeit aller Größen ( $R_{mot}$ ,  $k_t$ ,  $M_{R0}$ )
- überlagerte dynamische Effekte (Anlaufverhalten)
- qualitativ verändertes Zuspauverhalten aufgrund von Verschleiß

- 36 -

- Systemeinflüsse (z.B. durch An- bzw. Abschalten des "Nachbaraktuators")

Für die technische Umsetzung der Anlegepunkterkennung werden Spannung und Strom zyklisch mit der Abtastzeit  $T_0$  erfasst (siehe Motormodell (Gl. 1)). Die erfassten Werte werden anschließend nach der Zeit differenziert. Als robustes Verfahren hat sich hierfür die quadratische Approximation bewährt, wobei sich als besonders vorteilhaft die Anwendung eines Approximationsfilters dritter Ordnung herausgestellt, bei dem gerade 3 Messwerte für die Bildung einer Parabel verwendet werden.

Die zeitliche Ableitung des Stroms ist in dem in Fig. 6 dargestellten Diagramm veranschaulicht. In dieser Darstellung wird deutlich, dass der Anlegepunkt durch einen Nulldurchgang der Ableitung des Stroms nach der Zeit charakterisiert ist. Bei einem größeren Lüftspiel kann es jedoch auch eine ausgedehnte Phase der ersten Ableitung des Stroms geben, in der die Ableitung in der Nähe von Null liegt. Um eine klare Abgrenzung zum Anlaufverhalten zu erreichen, wird die Erkennung des Anlegepunkts durch die Beobachtung von  $di/dt$  erst dann vorgenommen, wenn eine negative Ableitung auftritt.

Für das sichere und robuste Erkennen des Anlegepunkts wurde das im Folgenden dargestellte Verfahren entwickelt. Zunächst wird eine (positive) Schranke  $i_{p0}$  (Ableitungsschwellwert) für die betrachtete Größe ( $di/dt$ ) festgelegt. Diese Schranke ist ein kleiner (verglichen mit den übrigen Werten  $di/dt$ ) positiver Wert nahe Null. Wird diese Schranke

- 37 -

durch  $di/dt$  überschritten, so wird die aktuelle Position als potentieller Anlegepunkt gespeichert und ein Zähler gestartet. Der Zähler zählt mit jedem neuen Messwert so lange weiter nach oben, d.h. der Zähler wird durch einen Inkrementierungswert inkrementiert, so lange die betrachtete Größe größer ist als die Schranke  $i_{p0}$ . Fällt die Größe unter die Schranke, dann wird der Zähler wieder auf Null gesetzt. Der potentielle Anlegepunkt wird genau dann als wirklicher Anlegepunkt betrachtet, wenn der Zähler einen vorgegebenen Wert  $n_{Vorgabe}$  (Zählerschwellwert) erreicht. Damit wird sichergestellt, dass als Anlegepunkt die Position gewählt wird, nach der die zu betrachtende Größe mindestens  $n_{Vorgabe}$  mal hintereinander größer war als die vorgegebene Schranke. Dieses Verfahren hat sich in der Praxis bewährt und liefert auch bei ungewöhnlichen Stromprofilen sinnvolle Werte.

Eine Prüfung des gefundenen Anlegepunkts auf Plausibilität findet nicht statt, da die Position ja gerade auf den gefundenen Anlegepunkt kalibriert werden soll und somit keine (sinnvolle) Größe zum Vergleich vorliegt.

Bei Vorliegen eines hydraulischen Vordrucks wird ein analoges Verfahren verwendet. Allerdings kann es, je nach realer Sattelsteifigkeit, erforderlich sein, den Grenzwert  $n_{Vorgabe}$  herunterzusetzen, weil die Bewegung bei hohen Vordrücken schon vor Ablauf der bei Vordruck Null betrachteten  $n_{Vorgabe}$  Messwerten beendet ist. Es wird daher die folgende Abhängigkeit von  $n_{Vorgabe}$  vom Vordruck  $p_0$  vorgeschlagen:

$$n_{Vorgabe}(p_0) = 10 - \text{trunc}\left(\frac{p_0}{40 \text{ bar}}\right)$$

Der oben beschriebene Algorithmus zur Anlegepunkterkennung eignet sich auch dafür, weitere Kalibrierpunkte zu ermitteln. Dies geschieht dadurch, dass die Schranke  $i_{p0}$  für einen weiteren Kalibrierpunkt anders gewählt wird. Man kann so versuchen, für die Plausibilitätsprüfung der eingestellten Zuspannkraft über den ermittelten Verfahrensweg einen stabileren, d.h. linearen, Teil der Sattelkennlinie zu vermessen. Hierbei wird die Schranke  $i_{p0}$  zur Ermittlung des Kalibrierpunkts erhöht. Gegebenenfalls muss auch ein anderes (kleineres)  $n_{Vorgabe}$  für die Ermittlung des bei höherer Kraft gefundenen Kalibrierpunkts eingestellt werden.

Das Lüftspiel wird dadurch ermittelt, dass das vor dem aktuellen Zuspannvorgang eingestellte Lüftspiel durch Berechnung der Wegdifferenz zwischen Start des Zuspannvorgangs bis zum Finden des neuen Anlegepunkts ermittelt wird. Nach dem Zuspinnen liegen so Messungen für das davor eingestellte Lüftspiel vor. Sollte das vermessene Lüftspiel kleiner sein als das Lüftspiel, das eingestellt werden sollte, so könnte hierin eine fehlerhafte Einstellung liegen. Um den gleichen Fehler, also das Einstellen eines zu kleinen Lüftspiels beim nächsten Lösen zu verhindern, wird für den nächsten Lösevorgang der Sollwert für das Lüftspiel um einen festen Betrag vergrößert. Ist demgegenüber das vermessene Lüftspiel deutlich größer als der vorgegebene Wert, so kann der Sollwert für das nächste Lösen verkleinert werden. Aufgrund von Sicherheitsbetrachtungen ist es sinnvoll, das

Lüftspiel in großen Schritten zu vergrößern und in wesentlich kleineren Schritten wieder zu verkleinern.

Nach einem harten Reset der Steuereinheit, in der diese nicht geordnet heruntergefahren wurde, ist der Status des Aktuators unbekannt. Insbesondere liegt keine kalibrierte Position vor, auf die sich die Ansteuerung beziehen könnte. Aus diesem Grund ist vor dem normalen Betrieb der Feststellbremse eine Initialisierungsfahrt des Aktuators notwendig. Die Initialisierungsfahrt startet bei Betätigung des Bedienelements der Feststellbremse. Beim Zuspinnen wird die Initialisierung derart vorgenommen, dass beim Zuspinnen der normale Maximalstromwert erreicht wird. Bei diesem Zuspinnen wird jedoch eine Anlegepunkterkennung nicht durchgeführt. Anschließend wird einmalig, d.h. bis zur nächsten Bestimmung des Anlegepunkts die Position des Aktuators auf den Standardwert der Normkennlinie gesetzt. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Sollzuspannkraft gerade mit dem Abschaltkriterium eingestellt wurde. Damit liegt ein Wert der Position vor, der beim nächsten Öffnen/Lösen ein sicheres Einstellen des Lüftspiels garantiert.

Falls der Fahrer des Kraftfahrzeugs nach einem harten Reset der Steuereinheit die Feststellbremse lösen möchte, startet die Initialisierungsfahrt trotzdem zunächst in Richtung Zuspinnen, bis der normale Maximalstromwert erreicht wird. Die sich anschließende Initialisierungsprozedur erfolgt analog zur obigen Prozedur. Anschließend wird die Feststellbremse gelöst und ein Lüftspiel sicher eingestellt.

- 40 -

Durch unterschiedlichen Verschleiß, durch Modellfehler oder aktuator-spezifische Gegebenheiten kann es zu einer deutlichen, d.h. für den Fahrer des Kraftfahrzeugs spürbaren Asynchronität zwischen zwei in einem Kraftfahrzeug angeordneten Aktuatoren kommen. Dies geschieht beispielsweise, wenn die Lüftspiele links und rechts sehr unterschiedlich eingestellt werden und ein Aktuator beim nächsten Zuspannen seinen Anlegepunkt wesentlich früher erreicht als der andere. Die Zeitdifferenz zwischen der Einstellung beider Anlegepunkte ist ein Maß für die Asynchronität der Aktuatoren. Sollte diese Zeitdifferenz größer werden als eine zulässige Schranke, wird in einem weiteren Ausführungsbeispiel durch eine entsprechende Änderung des Lüftspielsollwerts das synchrone Verhalten wieder hergestellt. Aus Sicherheitsgründen wird der Lüftspielsollwert des scheinbar „schnelleren“ Aktuators vergrößert. Vorzugsweise wird diese Adaption in kleinen Schritten (pro Betätigung) durchgeführt, um die Varianz der Anlegepunkterkennung auszugleichen. Außerdem wird in vorteilhafter Weise die Korrektur der Lüftspielsollwerte beider Aktuatoren einzeln aufintegriert, um bei erreichter Synchronität die Korrektur auf beiden Seiten gleichzeitig zu reduzieren, bis das kleinere Lüftspiel dem Normlüftspiel entspricht.

**Patentansprüche:**

1. Verfahren zum Betreiben einer Feststellbremse mit einem Aktuator (5), wobei der Aktuator (5) durch einen in zwei Richtungen betreibbaren Gleichstrommotor (28) angetrieben wird, der über ein selbsthemmendes Getriebe (24) des Aktuators (5) mindestens eine Bremsbacke zum Zuspinnen oder Lösen der Feststellbremse in Richtung eines Drehglieds oder davon weg bewegt, wobei eine Steuereinheit (10) für die Steuerung oder Regelung der Bewegung des Gleichstrommotors (28) vorgesehen ist, wobei beim Zuspinnen oder Lösen der Feststellbremse in der Regel ein Anlegepunkt der Bremsbacken an dem Drehglied überschritten wird,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass durch die Steuereinheit (10) zur Bestimmung des Anlegepunkts die erste Ableitung des beim Zuspinnen vom Gleichstrommotor (28) aufgenommenen elektrischen Stroms nach der Zeit gebildet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,**  
dass durch die Steuereinheit (10) der Anlegepunkt als der Punkt der Bremsbackenstellung bestimmt wird, bei dem die Ableitung des vom Gleichstrommotor (28) aufgenommenen elektrischen Stroms nach der Zeit größer als Null wird, wobei vorzugsweise dieser Wert der ersten Ableitung erst dann als Anlegepunkt identifiziert wird, wenn die Ableitung des Stroms davor negativ war.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **gekennzeichnet durch** die folgenden Schritte:
- Festlegen eines positiven Ableitungsschwellwerts ( $i_{p0}$ ) für die erste Ableitung ( $di/dt$ ),
  - Prüfen in vorgegebenen, vorzugsweise regelmäßigen Abständen der Zuspännbewegung des Gleichstrommotors (28), ob die erste Ableitung des vom Gleichstrommotor (28) aufgenommenen Stroms ( $di/dt$ ) größer als der oder gleich dem Ableitungsschwellwert ( $i_{p0}$ ) ist,
  - falls die erste Ableitung größer als der oder gleich dem Ableitungsschwellwert ( $i_{p0}$ ) ist, Merken der aktuellen Bremsbackenposition als potentiellen Anlegepunkt und Starten eines Zählers sowie Inkrementieren des Zählers bei der weiteren Zuspännbewegung des Gleichstrommotors (28) um einen vorher festgelegten Inkrementierungswert, solange die erste Ableitung ( $di/dt$ ) größer als der oder gleich dem Ableitungsschwellwert ( $i_{p0}$ ) ist, oder Zurücksetzen des Zählers auf Null, sobald bei der weiteren Zuspännbewegung des Gleichstrommotors (28) die erste Ableitung ( $di/dt$ ) den Ableitungsschwellwert ( $i_{p0}$ ) wieder unterschreitet,
  - Prüfen, ob der Zähler einen vordefinierten Zählerschwellwert ( $n_{Vorgabe}$ ) überschreitet, und,
  - falls der Zähler den vordefinierten Zählerschwellwert ( $n_{Vorgabe}$ ) überschreitet, Festlegen des jeweiligen gemerkten potentiellen Anlegepunkts als tatsächlicher Anlegepunkt.

- 43 -

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch die Steuereinheit (10) zur Steuerung oder Regelung der Bewegung des Gleichstrommotors (28) zum Zuspinnen der Feststellbremse mit einer gewünschten, vorgegebenen Zuspinnkraft ein vom Gleichstrommotor (28) hierfür aufzunehmenden Maximalstromwert bestimmt, das Zuspinnen durch eine entsprechende Bewegung des Gleichstrommotors (28) durchgeführt und nach Erreichen des Maximalstromwerts die Bewegung des Gleichstrommotors (28) beendet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Steuerung oder Regelung des Gleichstrommotors (28) zum Zuspinnen und/oder Lösen der Feststellbremse durch die Steuereinheit (10) ein hydraulischer Vordruck berücksichtigt wird, welcher im Fall des Zuspinnens aktuell am Kolben anliegt oder im Fall des Lösens beim vorangegangenen Zuspinnen am Kolben angelegen hat.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch die Steuereinheit (10) beim Zuspinnen und/oder Lösen mittels eines Motormodells fortlaufend ein zurückgelegter Betätigungsweg des Gleichstrommotors (28) ermittelt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch die Steuereinheit (10) eine mittels eines Motormodells ermittelte Kolbenposition unter Berücksichtigung des hydraulischen Vordrucks auf den ermittelten Anlegepunkt oder die ermittelte Position beim

- 44 -

Erreichen des vorgegebenen Maximalstromwerts kalibriert wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch die Steuereinheit (10) aus dem Betätigungsweg zwischen dem ermittelten Anlegepunkt und der Betätigungsposition beim Erreichen des vorgegebenen Maximalstromwerts ein zurückgelegter Zuspännweg ermittelt und anschließend der zurückgelegte Zuspännweg mit einem der gewünschten Zuspännkraft entsprechenden Normzuspännweg verglichen wird, wobei bei einer signifikanten Abweichung des zurückgelegten Zuspännwegs vom Normzuspännweg eine Nachspännfunktion der Steuereinheit (10) aktiviert wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Nachspännfunktion eine Wegregelung beinhaltet, wobei das Nachspannen vorzugsweise direkt nach Beendigung des Zuspännvorgangs durchgeführt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch die Steuereinheit (10) zum Nachspannen eine 'Knock-Funktion' verwendet wird, wobei das Nachspannen vorzugsweise direkt nach Beendigung des Zuspännvorgangs durchgeführt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch die Steuereinheit (10) zum Lösen der Feststellbremse eine Steuerung der Mutterbewegung in Löserichtung durchgeführt wird, wobei bei der Berechnung des für die Steuerung der Mutterbewe-

- 45 -

gung verwendeten Sollverfahrwegs der beim letzten Zuspannen unter Berücksichtigung des hydraulischen Vor- drucks ermittelte Anlegepunkt sowie ein vorgegebenes Lüftspiel berücksichtigt wird.

12. Feststellbremse mit einem Aktuator (5), wobei der Ak- tuator (5) durch einen in zwei Richtungen betreibbaren Gleichstrommotor (28) angetrieben wird, der über ein selbsthemmendes Getriebe (24) des Aktuators (5) min- destens eine Bremsbacke zum Zuspannen oder Lösen der Feststellbremse in Richtung eines Drehglieds oder da- von weg bewegt, wobei eine Steuereinheit (10) für die Steuerung oder Regelung der Bewegung des Gleichstrom- motors vorgesehen ist, wobei die Feststellbremse der- art ausgebildet ist, dass beim Zuspannen oder Lösen der Feststellbremse in der Regel ein Anlegepunkt der Bremsbacken an dem Drehglied überschritten wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinheit (10) den Anlegepunkt durch Bil- dung der ersten Ableitung des beim Zuspannen vom Gleichstrommotor (28) aufgenommenen elektrischen Stroms nach der Zeit bestimmt.
13. Feststellbremse nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeich- net**, dass die Steuereinheit (10) den Anlegepunkt als den Punkt der Bremsbackenstellung bestimmt, bei dem die Ableitung des vom Gleichstrommotor (28) aufgenom- menen elektrischen Stroms nach der Zeit größer als Null wird, wobei vorzugsweise dieser Wert der ersten Ableitung erst dann als Anlegepunkt identifizierbar ist, wenn die Ableitung des Stroms davor negativ war.

14. Feststellbremse nach einem der Ansprüche 12 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinheit (10) zur Steuerung oder Regelung der Bewegung des Gleichstrommotors (28) zum Zuspinnen der Feststellbremse mit einer gewünschten, vorgegebenen Zuspinnkraft ein vom Gleichstrommotor (28) hierfür aufzunehmenden Maximalstromwert bestimmt, das Zuspinnen durch eine entsprechende Bewegung des Gleichstrommotors (28) durchführt und nach Erreichen des Maximalstromwerts die Bewegung des Gleichstrommotors (28) beendet.
15. Feststellbremse nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinheit bei der Steuerung oder Regelung des Gleichstrommotors (28) zum Zuspinnen und/oder Lösen der Feststellbremse einen hydraulischen Vordruck berücksichtigt, welcher im Fall des Zuspinnens aktuell am Kolben anliegt oder im Fall des Lösens beim vorangegangenen Zuspinnen am Kolben angelegen hat.
16. Feststellbremse nach einem der Ansprüche 12 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinheit (10) beim Zuspinnen und/oder Lösen mittels eines Motormodells fortlaufend einen zurückgelegten Betätigungsweg des Gleichstrommotors (28) ermittelt.
17. Feststellbremse nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinheit (10) eine mittels eines Motormodells ermittelte Kolbenposition unter Berücksichtigung des hydraulischen Vordrucks auf den ermit-

telten Anlegepunkt oder die ermittelte Position beim Erreichen des vorgegebenen Maximalstromwerts kalibriert.

18. Feststellbremse nach einem der Ansprüche 16 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinheit (10) aus dem Betätigungsweg zwischen dem ermittelten Anlegepunkt und der Betätigungsposition beim Erreichen des vorgegebenen Maximalstromwerts einen zurückgelegten Zuspannweg ermittelt und anschließend den zurückgelegte Zuspannweg mit einem der gewünschten Zuspannkraft entsprechenden Normzuspannweg vergleicht, wobei bei einer signifikanten Abweichung des zurückgelegten Zuspannwegs vom Normzuspannweg eine Nachspannfunktion der Steuereinheit (10) aktivierbar ist.
19. Feststellbremse nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Nachspannfunktion eine Wegregelung beinhaltet, wobei die Steuereinheit (10) das Nachspannen vorzugsweise direkt nach Beendigung des Zuspannvorgangs durchführt.
20. Feststellbremse nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinheit (10) zum Nachspannen eine 'Knock-Funktion' verwendet, wobei die Steuereinheit (10) das Nachspannen vorzugsweise direkt nach Beendigung des Zuspannvorgangs durchführt.
21. Feststellbremse nach einem der Ansprüche 11 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinheit (10) zum Lösen der Feststellbremse eine Steuerung der Mut-

- 48 -

terbewegung in Löserichtung durchführt, wobei die Steuereinheit (10) bei der Berechnung des für die Steuerung der Mutterbewegung verwendeten Sollverfahrens den beim letzten Zuspinnen unter Berücksichtigung des hydraulischen Vordrucks ermittelten Anlegepunkt sowie ein vorgegebenes Lüftspiel berücksichtigt.

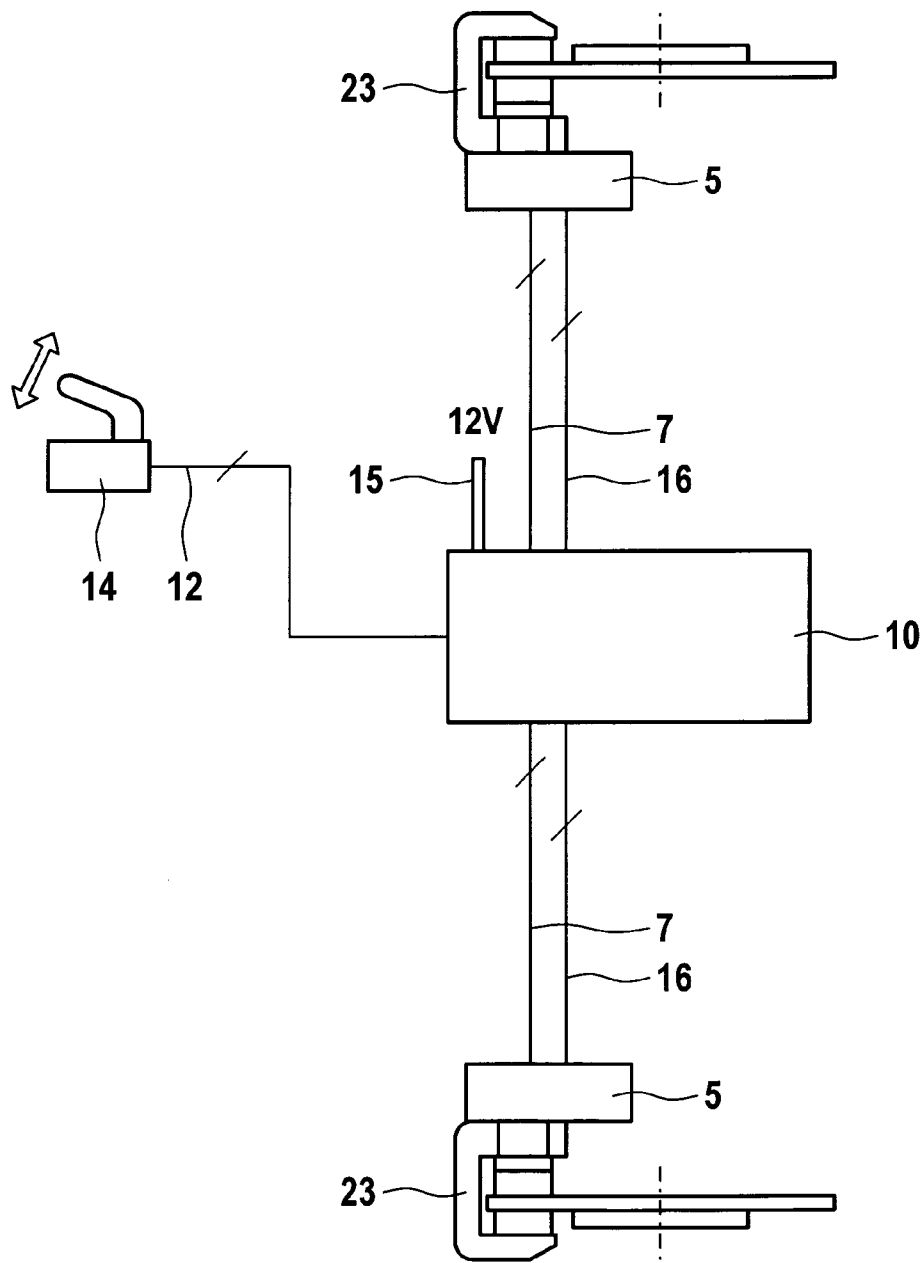


Fig. 1

2 / 6

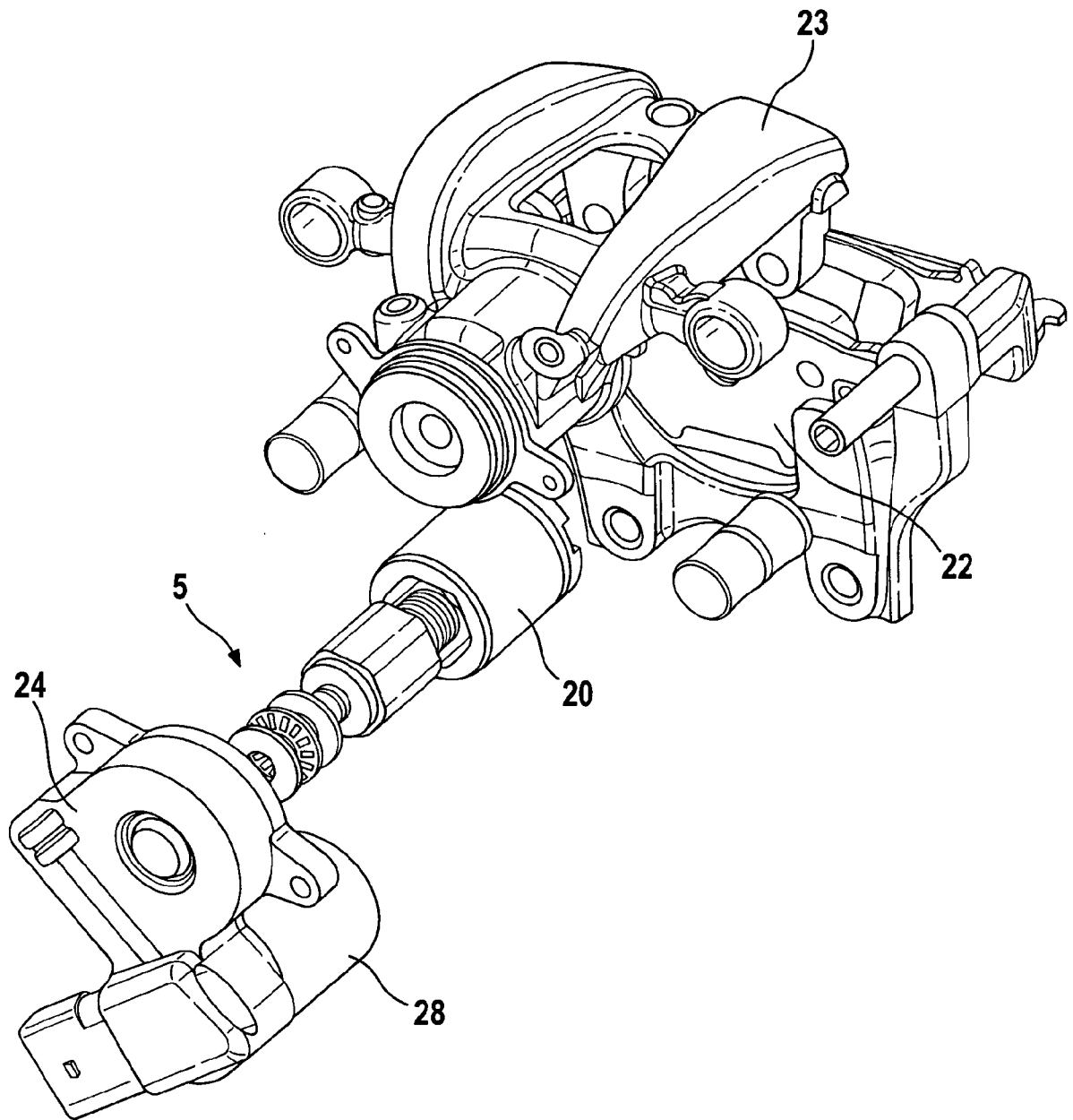
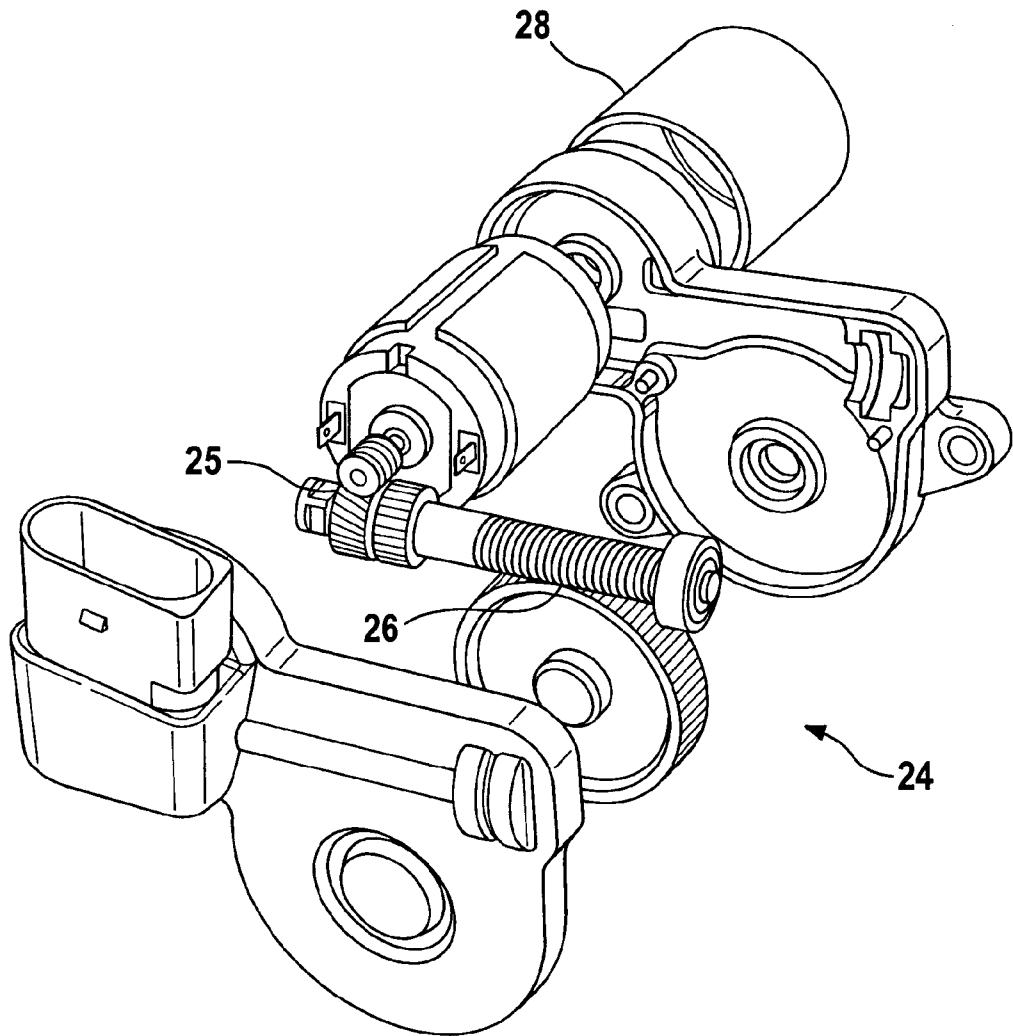


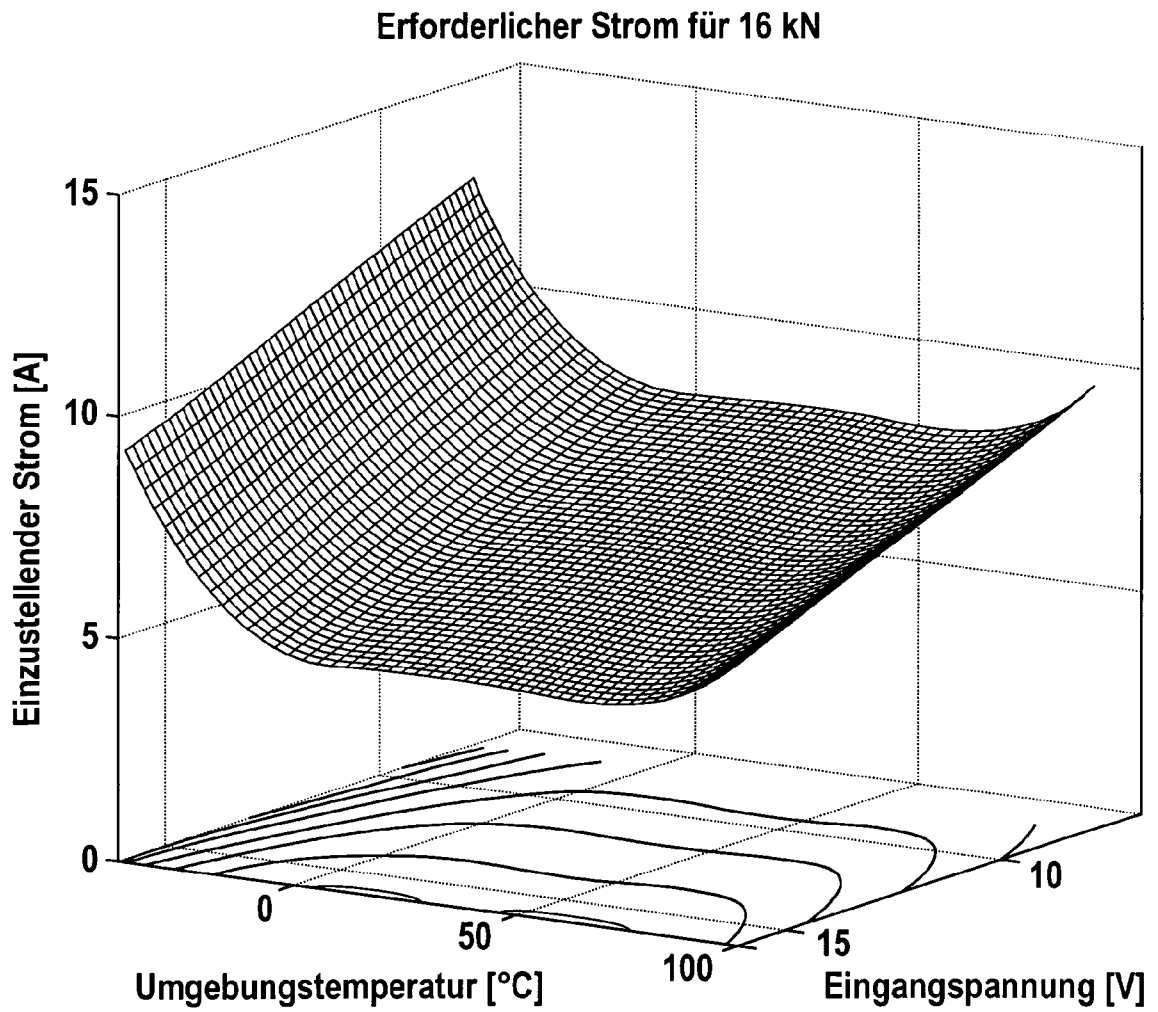
Fig. 2

3 / 6



**Fig. 3**

4 / 6

**Fig. 4**

5 / 6

$$F_{\text{caliper}} = \begin{cases} f(x_{\text{piston}}) = c_{\text{caliper}} * x_{\text{piston}}^2 & x_{\text{piston}} \geq 0 \\ 0 & x_{\text{piston}} < 0 \end{cases}$$

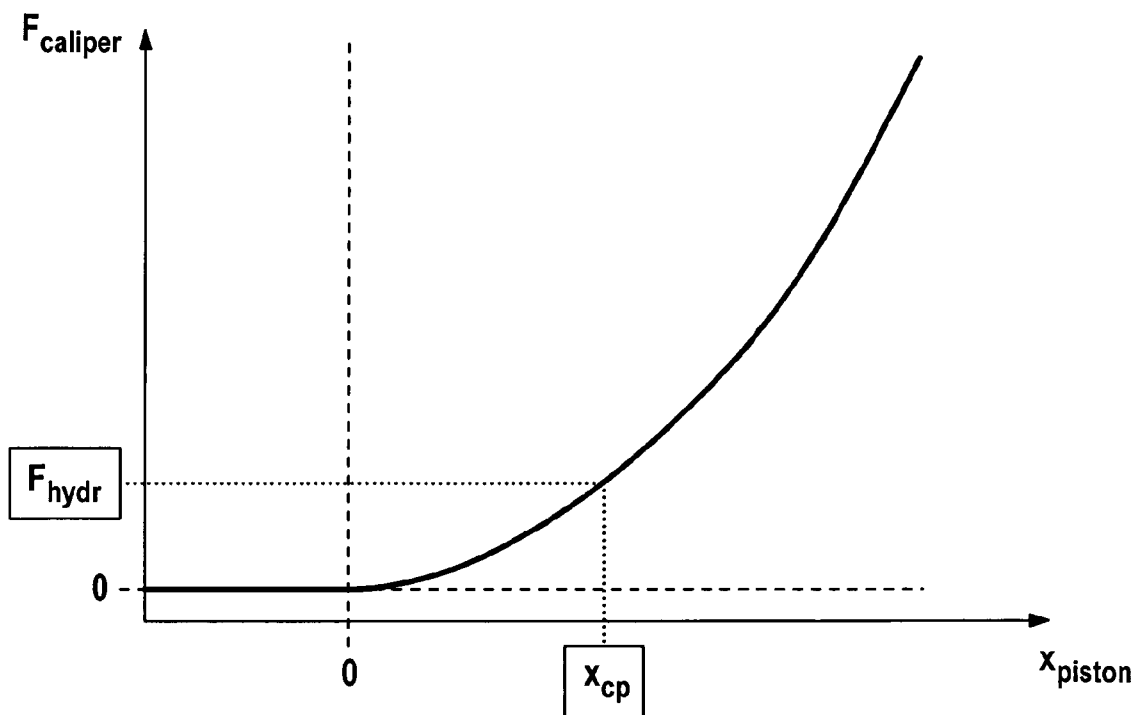


Fig. 5

6 / 6

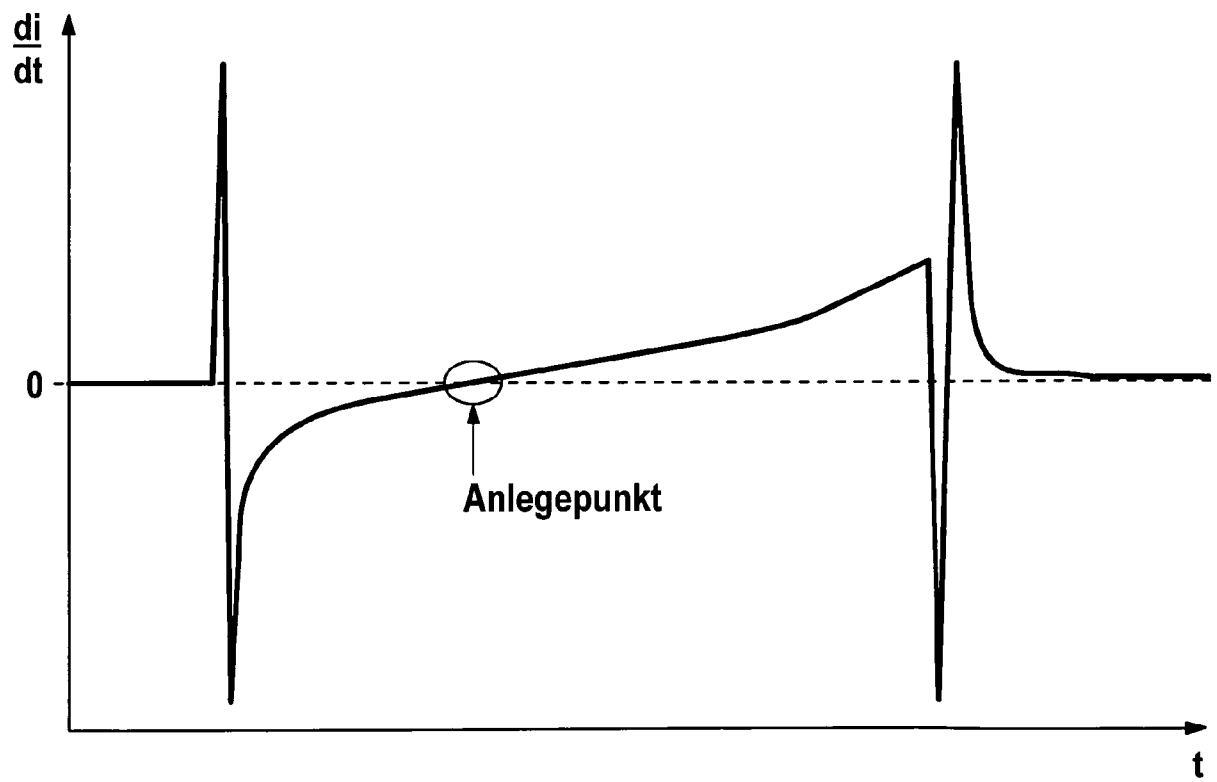


Fig. 6

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No  
**PCT/EP2008/064358**

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
INV. B60T13/74 B60T17/22

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
**B60T**

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

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

**EPO-Internal, WPI Data**

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 478 642 B (VOLKSWAGEN AG [DE]) 8 December 1993 (1993-12-08) abstract; figure 1 page 2, line 16 - line 17 -----	1,4,12, 14
A	DE 103 61 042 B3 (LUCAS AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 25 May 2005 (2005-05-25) the whole document -----	1,12
A	DE 197 32 168 C2 (LUCAS IND PLC [GB]) 18 June 2003 (2003-06-18) the whole document -----	1,12
A	DE 102 61 969 A1 (LUCAS AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 26 February 2004 (2004-02-26) cited in the application the whole document -----	1,12
	-/--	

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 document 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

**6 März 2009**

Date of mailing of the international search report

**18/03/2009**

Name and mailing address of the ISA/  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

**Beckman, Tycho**

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2008/064358

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 102 28 115 B4 (LUCAS AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 13 May 2004 (2004-05-13) cited in the application the whole document -----	1,12

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2008/064358
---

Patent document cited in search report	Publication date	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0478642	B	08-12-1993	WO 9015734 A1	27-12-1990
			EP 0478642 A1	08-04-1992
			ES 2047936 T3	01-03-1994
			JP 2931402 B2	09-08-1999
			JP 4506197 T	29-10-1992
			US 5417624 A	23-05-1995
DE 10361042	B3	25-05-2005	CN 1898110 A	17-01-2007
			EP 1697186 A1	06-09-2006
			WO 2005063535 A1	14-07-2005
			JP 2007515344 T	14-06-2007
			US 2006261764 A1	23-11-2006
DE 19732168	C2	18-06-2003	DE 19732168 C1	07-01-1999
			WO 9905011 A2	04-02-1999
			EP 0996560 A2	03-05-2000
			ES 2259116 T3	16-09-2006
			ES 2271759 T3	16-04-2007
			ES 2205533 T3	01-05-2004
			JP 2001510760 T	07-08-2001
			US 6394235 B1	28-05-2002
DE 10261969	A1	26-02-2004	NONE	
DE 10228115	B4	13-05-2004	DE 10228115 A1	22-01-2004

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2008/064358

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
 INV. B60T13/74 B60T17/22

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

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 B60T

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 478 642 B (VOLKSWAGEN AG [DE]) 8. Dezember 1993 (1993-12-08) Zusammenfassung; Abbildung 1 Seite 2, Zeile 16 - Zeile 17 -----	1,4,12, 14
A	DE 103 61 042 B3 (LUCAS AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 25. Mai 2005 (2005-05-25) das ganze Dokument -----	1,12
A	DE 197 32 168 C2 (LUCAS IND PLC [GB]) 18. Juni 2003 (2003-06-18) das ganze Dokument -----	1,12
A	DE 102 61 969 A1 (LUCAS AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 26. Februar 2004 (2004-02-26) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1,12
	-/--	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen  Siehe Anhang Patentfamilie

- |  |   |
|--|---|
| <p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>*A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>*E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>*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)</p> <p>*O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>*P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> | <p>*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</p> <p>*X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindertischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>*Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindertischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>*Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p> |
|--|---|

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
6. März 2009	18/03/2009

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  Beckman, Tycho
--	---

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2008/064358

## C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 102 28 115 B4 (LUCAS AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 13. Mai 2004 (2004-05-13) in der Anmeldung erwähnt, das ganze Dokument. -----	1,12

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2008/064358

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0478642	B	08-12-1993	WO 9015734 A1	27-12-1990
			EP 0478642 A1	08-04-1992
			ES 2047936 T3	01-03-1994
			JP 2931402 B2	09-08-1999
			JP 4506197 T	29-10-1992
			US 5417624 A	23-05-1995
			DE 10361042	B3
			EP 1697186 A1	06-09-2006
			WO 2005063535 A1	14-07-2005
			JP 2007515344 T	14-06-2007
			US 2006261764 A1	23-11-2006
DE 19732168	C2	18-06-2003	DE 19732168 C1	07-01-1999
			WO 9905011 A2	04-02-1999
			EP 0996560 A2	03-05-2000
			ES 2259116 T3	16-09-2006
			ES 2271759 T3	16-04-2007
			ES 2205533 T3	01-05-2004
			JP 2001510760 T	07-08-2001
			US 6394235 B1	28-05-2002
DE 10261969	A1	26-02-2004	KEINE	
DE 10228115	B4	13-05-2004	DE 10228115 A1	22-01-2004