



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 216 157.3**

(22) Anmeldetag: **14.08.2013**

(43) Offenlegungstag: **03.04.2014**

(51) Int Cl.: **B60T 13/66 (2006.01)**

(66) Innere Priorität:  
**10 2012 217 752.3 28.09.2012**

(71) Anmelder:  
**Continental Teves AG & Co. OHG, 60488,  
Frankfurt, DE**

(72) Erfinder:  
**Böhm, Jürgen, Dr., 65558, Oberneisen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**DE 10 2011 076 675 A1**  
**DE 10 2012 200 494 A1**  
**DE 10 2012 200 705 A1**  
**WO 2008/ 025 797 A1**

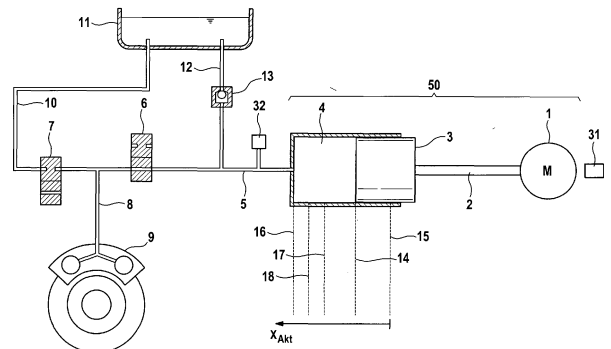
Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Regelung einer Bremsanlage für Kraftfahrzeuge**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Bremsanlage für Kraftfahrzeuge mit einer hydraulisch betätigbaren Radbremse, welche mittels einer elektronisch steuerbaren Druckbereitstellungseinrichtung betätigbar ist, die eine Zylinder-Kolben-Anordnung mit einem hydraulischen Druckraum umfasst, deren Kolben durch einen elektromechanischen Aktuator verschiebbar ist, so dass ein vorgegebener Druck-Sollwert in dem hydraulischen Druckraum einstellbar ist, wobei eine Position der Druckbereitstellungseinrichtung erfasst wird, und wobei mittels einer Messeinrichtung ein Ist-Druck ( $P_{V,Ist}$ ) der Druckbereitstellungseinrichtung bestimmt wird.

Um bei kleinen oder mittleren Druck-Sollwerten einen dynamischen Bremsdruckaufbau zu ermöglichen sieht die Erfindung vor, dass Stellgrößen ( $\omega_{Akt,Soll}$ ,  $M_{Akt,Soll}$ ) für den elektromechanischen Aktuator (1) anhand des vorgegebenen Druck-Sollwerts ( $P_{V,Soll}$ ) und eines Druck-Istwerts ( $P_{V,Dach}$ ) gebildet werden, wobei der Druck-Istwert ( $P_{V,Dach}$ ) in Abhängigkeit von dem Druck-Sollwert ( $P_{V,Soll}$ ) durch gewichtete Addition des Ist-Drucks ( $P_{V,Ist}$ ) und eines aus einer aktuellen Position ( $X_{Akt}$ ) der Druckbereitstellungseinrichtung berechneten Modell-Drucks ( $P_{V,Mod}$ ) bestimmt wird.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Bremsanlage für Kraftfahrzeuge gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1, eine Regelvorrichtung nach dem Oberbegriff von Anspruch 10 sowie eine Bremsanlage gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 12.

**[0002]** In der Kraftfahrzeugtechnik finden „Brake-by-wire“-Bremsanlagen eine immer größere Verbreitung. Solche Bremsanlagen umfassen oftmals neben einem durch den Fahrzeugführer betätigbaren Hauptbremszylinder eine elektrisch steuerbare Druckbereitstellungseinrichtung, mittels welcher in der Betriebsart „Brake-by-wire“ eine Betätigung der Radbremsen, entweder direkt oder über den Hauptbremszylinder, stattfindet. Um dem Fahrzeugführer in der Betriebsart „Brake-by-wire“ ein angenehmes Pedalgefühl zu vermitteln, umfassen die Bremsanlagen üblicherweise eine Bremspedalgefühl-Simulationseinrichtung, welche z.B. mit dem Hauptbremszylinder in Wirkverbindung steht. Zur Ansteuerung der Bremsanlage ist ein Sollwertgeber vorgesehen, welcher z.B. die elektrischen Signale von einem oder mehreren Sensoren zur Erfassung des Fahrerbremswunsches (Betätigungswunsches) auswertet, um einen Sollwert für die Ansteuerung der Druckbereitstellungseinrichtung zu bestimmen. Bei diesen Bremsanlagen kann die Druckbereitstellungseinrichtung jedoch auch ohne aktives Zutun des Fahrers aufgrund elektronischer Signale betätigt werden. Diese elektronischen Signale können beispielsweise von einem elektronischen Stabilitätsprogramm (ESC) oder einem Abstandsregelsystem (ACC) ausgegeben werden, so dass der Sollwertgeber einen Sollwert zur Ansteuerung der Druckbereitstellungseinrichtung anhand dieser Signale bestimmt.

**[0003]** Aus der internationalen Patentanmeldung WO 2008/025797 A1 ist ein Bremssystem bekannt, in welchem vorgeschlagen wird, das zur elektrischen Regelung des in einem zur Betätigung des Hauptbremszylinders verwendeten Zwischenraum eingesteuerten Druckes benötigte Druckmittel in der Druckbereitstellungseinrichtung drucklos bereitzuhalten und bei Bedarf unter einen höheren Druck zu setzen, um auf eine aufwändige und energetisch ungünstige Zwischenspeicherung hydraulischer Stellenergie verzichten zu können. Die Druckbereitstellungseinrichtung wird hierzu durch eine Zylinder-Kolben-Anordnung gebildet, deren Kolben durch einen elektromechanischen Aktuator betätigbar ist. Ein Verfahren zur Regelung des Bremssystems, insbesondere der Druckbereitstellungseinrichtung, wird nicht beschrieben.

**[0004]** In der DE 10 2011 076 675 A1 ist ein Verfahren zur Regelung eines elektrohydraulischen Bremssystems für Kraftfahrzeuge mit einer elektronisch an-

steuerbaren Druckbereitstellungseinrichtung, welche mit hydraulisch betätigbaren Radbremsen verbunden ist, beschrieben. Die Druckbereitstellungseinrichtung umfasst eine Zylinder-Kolben-Anordnung mit einem hydraulischen Druckraum, deren Kolben durch einen elektromechanischen Aktuator relativ zu einer Ruheposition verschiebbar ist. Zur Regelung werden ein Druck-Istwert und ein Druck-Sollwert bestimmt, die einer Reglervorrichtung als Eingangsgrößen zugeführt werden. Die Zylinder-Kolben-Anordnung wird von der Reglervorrichtung derart angesteuert, dass der Druck-Sollwert in dem hydraulischen Druckraum durch Verschiebung des Kolbens eingestellt wird.

**[0005]** Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Regelung einer Bremsanlage für Kraftfahrzeuge sowie eine entsprechende Regelvorrichtung und Bremsanlage bereitzustellen, welches/welche bei kleinen oder mittleren Druck-Sollwerten einen dynamischen Bremsdruckaufbau ermöglicht.

**[0006]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1, eine Regelvorrichtung nach Anspruch 10 und eine Bremsanlage gemäß Anspruch 12 gelöst.

**[0007]** Unter einer Position der Druckbereitstellungseinrichtung wird bevorzugt eine Größe verstanden, welche für eine Position oder Lage oder Stellung des elektromechanischen Aktuators oder des Kolbens der Druckbereitstellungseinrichtung charakteristisch ist.

**[0008]** Bevorzugt wird der elektromechanische Aktuator von einer Regelvorrichtung angesteuert, die abhängig von einem Druck-Istwert ( $P_{V,Dach}$ ) der Druckbereitstellungseinrichtung und dem vorgegebenen Druck-Sollwert ( $P_{V,Soll}$ ) Stellgrößen ( $\omega_{Akt,Soll}$ ,  $M_{Akt,Soll}$ ) für den elektromechanischen Aktuator bildet.

**[0009]** Bevorzugt werden der Druck-Istwert ( $P_{V,Ist}$ ) und ein Aktuatorgeschwindigkeit-Istwert ( $\omega_{Akt}$ ) ermittelt, ein Druck-Sollwert ( $P_{V,Soll}$ ) bestimmt und der Druck-Sollwert ( $P_{V,Soll}$ ) und der Druck-Istwert ( $P_{V,Ist}$ ) einer Reglervorrichtung als Eingangsgrößen zugeführt, welche einen Druckregler und einen dem Druckregler nachgeschalteten Geschwindigkeitsregler umfasst, wobei der Druckregler einen Aktuatorgeschwindigkeit-Sollwert ( $\omega_{Akt,Soll,DR,Ctrl}$ ) ausgibt und dem Geschwindigkeitsregler als Eingangsgrößen ein Aktuatorgeschwindigkeit-Sollwert ( $\omega_{Akt,Soll}$ ) und der Aktuatorgeschwindigkeit-Istwert ( $\omega_{Akt}$ ) zugeführt werden.

**[0010]** Weiter ist es bevorzugt, dass der Druckregler einen ersten Aktuatorgeschwindigkeits-Sollwert ( $\omega_{Akt,Soll,DR,Ctrl}$ ) ausgibt, aus dem Druck-Sollwert ( $P_{V,Soll}$ ) ein zweiter Aktuatorgeschwindigkeits-Sollwert ( $\omega_{Akt,Soll,DR,FFW}$ ) bestimmt wird und anhand des ersten und des zweiten Aktuatorgeschwindigkeit-

Sollwert ( $\omega_{\text{Akt,Soll,DR,Ctrl}}$ ,  $\omega_{\text{Akt,Soll,DR,FFW}}$ ) der Eingangsgeschwindigkeit-Sollwert ( $\omega_{\text{Akt,Soll}}$ ) für den Geschwindigkeitsregler bestimmt wird.

**[0011]** Der erste und der zweite Aktuatorgeschwindigkeits- bzw. Aktuatordrehzahl-Sollwert ( $\omega_{\text{Akt,Soll,DR,Ctrl}}$ ,  $\omega_{\text{Akt,Soll,DR,FFW}}$ ) werden zu einem Signal ( $\omega_{\text{Akt,Soll}}$ ) addiert. Eventuelle Gewichtungen werden in den diese Signale erzeugenden Funktionsblöcken vorgenommen.

**[0012]** Vorteilhafterweise wird das erfindungsgemäße Verfahren in einer Bremsanlage für Kraftfahrzeuge durchgeführt, die in einer sog. „Brake-by-wire“-Betriebsart sowohl vom Fahrzeugführer als auch unabhängig vom Fahrzeugführer ansteuerbar ist, vorzugsweise in der „Brake-by-wire“-Betriebsart betrieben wird und in mindestens einer Rückfallbetriebsart betrieben werden kann, in der nur der Betrieb durch den Fahrzeugführer möglich ist.

**[0013]** Bevorzugt ist die Radbremse bzw. sind die Radbremsen hydraulisch an den Druckraum der Druckbereitstellungseinrichtung angeschlossen. So wird aus dem Druckraum verdrängtes Druckmittelvolumen direkt in die Radbremse(n) verschoben. Zwischen einer, insbesondere jeder, Radbremse und dem Druckraum ist bevorzugt zumindest ein elektrisch ansteuerbares Einlassventil angeordnet, mit welchem die Radbremse von dem Druckraum hydraulisch abtrennbar ist.

**[0014]** Bevorzugt ist die, insbesondere jede, Radbremse, z.B. über ein elektrisch ansteuerbares Auslassventil, mit einem Bremsflüssigkeitsvorratsbehälter verbindbar.

**[0015]** Ebenso ist es bevorzugt, dass der hydraulische Druckraum der Zylinder-Kolben-Anordnung mit einem Bremsflüssigkeitsvorratsbehälter verbunden oder verbindbar ist.

**[0016]** Die Erfindung betrifft auch eine Regelvorrichtung gemäß Anspruch 10 und eine Bremsanlage für Kraftfahrzeuge gemäß Anspruch 12.

**[0017]** Ein Vorteil der Erfindung liegt in der verbesserten (schnelleren) Einstellung eines vorgegebenen, insbesondere kleinen oder mittleren, Druck-Sollwertes in der Druckbereitstellungseinrichtung und damit in der/den Radbremse(n). Ein weiterer Vorteil der Erfindung liegt in der verbesserten Berücksichtigung großer Bremsbelagluftspiele der Radbremse(n).

**[0018]** Weitere bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung anhand von Figuren.

**[0019]** Es zeigen schematisch:

**[0020]** Fig. 1 ein Prinzipschaltbild einer beispielsweise Bremsanlage zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

**[0021]** Fig. 2 eine Regelvorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens zur Regelung einer Bremsanlage,

**[0022]** Fig. 3 eine beispielsweise Regelvorrichtung zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

**[0023]** Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens,

**[0024]** Fig. 5 ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens, und

**[0025]** Fig. 6 ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0026]** Bevorzugt betrifft das erfindungsgemäße Verfahren ein Regelungskonzept zur verbesserten (schnelleren) Einstellung von vorgegebenen Solldrücken mittels eines elektromotorisch angetriebenen Kolbens in einem aktiven, fremdbetätigten Bremssystem. Insbesondere wird hierbei die Verbesserung der Druckaufbaudynamik bei kleineren und mittleren Druckanforderungen betrachtet. Eine ebenfalls dargestellte Erweiterung behandelt die besondere Berücksichtigung großer Bremsbelagluftspiele bei der Verbesserung der Druckaufbaudynamik.

**[0027]** Fig. 1 zeigt das vereinfachte Prinzip eines aktiven Bremssystems für ein geregeltetes Rad eines hydraulisch gebremsten Fahrzeugs. Das erfindungsgemäße Verfahren wird bevorzugt in einem aktiven, fremdbetätigbaren Bremssystem durchgeführt, bei dem der Fahrer, z.B. mittels Bremspedalweg, eine Druckanforderung stellt und diese elektronisch mit Hilfe einer Druckbereitstellungseinrichtung **50**, z.B. umfassend einen Elektromotor bzw. Aktuator **1**, ein geeignetes Getriebe **2** und einen einen hydraulischen Druckraum **4** begrenzenden Kolben **3**, umgesetzt wird, indem der Kolben **3** um einen Weg  $X_{\text{Akt}}$  aus einer Ruheposition **15** in eine Position **14** fährt, so dass ein bestimmtes Volumen der Bremsflüssigkeit aus dem Druckraum **4** über die Leitung **5** und ein zunächst geöffnetes Einlassventil **6** in die Bremsleitung **8** und somit in die Radbremse **9** verschoben wird. Damit wird in der Radbremse **9** nach Überwindung des Belagluftspiels ein Bremsdruck erzeugt. Ein Bremsdruckabbau kann erfolgen, indem der Kolben **3** wieder in Richtung der Ruheposition **15** zurückgefahren wird. Ein schneller Bremsdruckabbau, wie er z.B. im Falle einer ABS-Regelung benötigt wird, ist aber auch über die Ventilkombination **6**, **7** möglich, indem das Einlassventil **6** geschlossen und das Auslassventil **7** für eine bestimmte Zeit geöffnet wird. Dann strömt Bremsflüssigkeit aus der Radbremse **9** über Leitung

**8** durch das Auslassventil **7** und somit über die Leitung **10** in den Bremsflüssigkeitsbehälter **11**. Diese Maßnahme des Druckabbaus ist insbesondere dann sinnvoll, wenn der Druckraum **4** mehrere Radbremsen parallel bedient.

**[0028]** Außerdem ist beispielsweise eine Messeinrichtung **31** vorgesehen, mittels welcher eine Position der Druckbereitstellungseinrichtung **50**, welche für eine Position oder Lage oder Stellung des Aktuators **1** und damit des Kolbens **3** der Druckbereitstellungseinrichtung **30** charakteristisch ist, erfasst wird. Messeinrichtung **31** kann z.B. einen Rotorlagewinkel des Elektromotors **1** oder eine Spindelposition eines Rotations-Translations-Getriebes oder auch den Weg  $X_{Akt}$  des Kolbens **3** aus seiner Ruheposition **15** erfassen. Alternativ kann die Position der Druckbereitstellungseinrichtung **50** auch aus anderen Größen, z.B. anhand eines Modells, bestimmt werden.

**[0029]** Außerdem ist beispielsweise eine Druckmesseinrichtung **32** vorgesehen, mittels welcher der Ist-Druck  $P_{V,ist}$  d.h. der Druck im Druckraum **4** der Druckbereitstellungseinrichtung **50** gemessen wird.

**[0030]** Aus Gründen der Sicherheit und der schnellen Fehlererkennung wird/werden die Messgröße  $X_{Akt}$  und/oder die Messgröße  $P_{V,ist}$  vorteilhafterweise redundant ermittelt. Dazu kann die entsprechende Messeinrichtung **31**, **32** eigensicher ausgeführt sein oder es können entsprechend zwei redundante Messeinrichtungen vorhanden sein.

**[0031]** Grundsätzlich kann das in **Fig. 1** dargestellte Bremssystem um beliebig viele Radbremsen **9** erweitert werden, indem mehrere Leitungen **5** zu den Radkreisen geführt werden, wobei jeder Radkreis bevorzugt über ein individuelles Ventilpaar **6**, **7** verfügt.

**[0032]** Um aus Sicherheitsgründen eine Mehrkreisigkeit des Systems zu bilden, können mehrere Kolben **3** und mehrere Druckräume **4** vorgesehen werden. Für einen PKW ist eine Zweikreisigkeit sinnvoll, wobei jeweils zwei Radbremsen mit einer von zwei Druckkammern verbunden sind.

**[0033]** Gegenüber der vereinfachten Darstellung des Systems in **Fig. 1** sind zahlreiche Verbesserungen und verschiedene Ausführungsformen des Prinzips denkbar, z.B. bei der Wahl der Ventile. Auch kann zwischen dem hydraulischen Druckraum **4** und der/den Radbremse(n) **9** z.B. ein Hauptbremszylinder angeordnet sein, so dass der in dem Druckraum **4** erzeugte Druck einem hydraulischen Zwischenraum, z.B. in einer Betätigungseinrichtung, zugeführt wird, wodurch der Hauptbremszylinder betätigt wird.

**[0034]** Die Erfindung befasst sich mit der Aufgabe der Einstellung geeigneter Drücke im Druckraum **4**.

**[0035]** Die Notwendigkeit, einen vorgegebenen Druck bzw. Druckverlauf mit Hilfe eines Regelungsverfahrens einzustellen, ergibt sich immer dann, wenn der Fahrer mittels Betätigung des Bremspedals einen allgemeinen Bremsdruck für alle Räder des Kraftfahrzeugs anfordert, oder wenn diese Druckanforderung durch eine Assistenzfunktion ACC (adaptive cruise control), HSA (hill start assist), HDC (hill descent control) etc. gestellt wird, oder wenn eine spezielle radindividuelle Bremsenregelfunktion aktiv wird, wie beispielsweise ABS (Antiblockiersystem), TCS (Traction Control System) oder ESP (Elektronisches Stabilitätsprogramm).

**[0036]** In allen Fällen gilt, dass vorteilhafterweise der Druck des Druckraums **4** so einzustellen ist, dass das Rad mit der höchsten Bremsdruckanforderung sicher mit dem notwendigen Druck versorgt werden kann. Bezüglich der Dynamik des einzustellenden Druckes bzw. Druckverlaufes gilt, dass im Rahmen der verfügbaren Dynamik des Aktuators **1** ein möglichst geringer zeitlicher Verzug zwischen der gestellten Druckanforderung und dem sich einstellenden Druck im Vordruckraum **4** anzustreben ist. Dies gilt insbesondere auch dann, wenn der Aktuator **1** sich zu Beginn der Druckanforderung in seiner Ruheposition **15** befindet und daher zum Einstellen des geforderten Druckes zunächst das Belaglüftspiel überwinden muss. Dabei verschiebt der Aktuator zunächst ein, von der Größe der eingesetzten Radbremsen **9** und des eingestellten Belaglüftspiels abhängiges Volumen aus dem Druckraum **4** in die Radbremsen, um die Beläge, z.B. an die Bremsscheibe, anzulegen. Während dieses Vorgangs wird allerdings noch kein Bremsdruck in den Radbremsen **9** aufgebaut. Insbesondere unter Beachtung der Anforderung nach einem möglichst guten Ansprechverhalten ergibt sich hier (unabhängig von der Größe des eingestellten Lüftspiels) auch die Anforderung, einen, im Rahmen der verfügbaren Aktuatordynamik, möglichst schnellen Druckaufbau auch bei kleinen Druckanforderungen zu realisieren.

**[0037]** Im Hinblick auf das Regelungsverfahren zum Einstellen des geforderten Vordruckes bedeutet dies, dass für die Druckregelung Maßnahmen vorzusehen sind, so dass die Zeit zwischen dem Stellen einer Druckanforderung und dem Beginn des Druckaufbaus in den betrachteten Radbremsen möglichst kurz ist. Dies gilt insbesondere für schnelle Druckaufbauanforderungen auf ein niedriges bis mittleres Druckniveau. Bei Verwendung eines linearen Regleransatzes kann es hierbei vorkommen, dass in diesem Soll-druckbereich nicht die volle verfügbare Dynamik des Linearaktuators ausgenutzt wird.

**[0038]** Eine Grundstruktur einer Regelvorrichtung **200** zum Einstellen eines geforderten Drucks bzw. Druckverlaufs zeigt **Fig. 2**. Es handelt sich um einen Druckregler **20**, dem ein Aktuatorgeschwindigkeitsregler (vorteilhafterweise Motordrehzahlregler)

**21** unter Zwischenschaltung weiterer Schaltungselemente **23–25** unterlagert ist. Dabei wird dem Druckregler **20** das Ergebnis  $\Delta P_V$  einer in einem Subtraktionsglied **19** durchgeführten Subtraktion zwischen dem geforderten Druck-Sollwert  $P_{V,Soll}$  und dem gegenwärtig vorliegenden Druck-Istwert  $P_{V,Ist}$  zugeführt. Die Ausgangsgröße des Druckreglers **20** ist der Sollwert für die Aktuatordrehzahl  $\omega_{Akt,Soll,DR,Ctrl}$ , der unter Berücksichtigung von vorgegebenen minimalen und maximalen Aktuatordrehzahlwerten  $\omega_{Min}$ ,  $\omega_{Max}$  dem Drehzahlregler **21** als Eingangsgröße übergeben wird. Der Druck-Sollwert  $P_{V,Soll}$  ergibt sich aufgrund der in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Anforderungen. Der Druck-Istwert  $P_{V,Ist}$  wird bevorzugt mittels eines Drucksensors (**32** in **Fig. 1**) gemessen. Dieser Drucksensor **32** erfasst den Druck am Ausgang des Druckraumes **4**. Dabei ist zu beachten, dass insbesondere die bei schnellen Druckaufbauten auftretenden Staudrücke an den zwischen dem Druckraum **4** und den Radbremsen **9** befindlichen Ventilen (z.B. **6**) hierdurch ebenfalls gemessen werden.

**[0039]** Als Reglerübertragungsverhalten ist üblicherweise ein proportional wirkender Regler (P-Regler) ausreichend. Zur Erhöhung der Druckreglerdynamik ist beispielsweise eine Geschwindigkeitsvorsteuerung **22** vorgesehen. Diese bestimmt aus dem angeforderten Druck-Sollwert  $P_{V,Soll}$  durch (zeitliche) Differentiation eine Solldruckgeschwindigkeit, die mit einem Verstärkungsfaktor ( $K_P$ ) gewichtet einen zusätzlichen Anteil  $\omega_{Akt,Soll,DR,FFW}$  ( $\omega_{Akt,Soll,DR,FFW} = K_P \cdot dP_{V,Soll}/dt$ ) dem Aktuatordrehzahl-Sollwert des Druckreglers **20**  $\omega_{Akt,Soll,DR,Ctrl}$  überlagert. Die beiden Soll-drehzahlanteile werden in einem Addierer **23** zusammen addiert und einer Begrenzungsfunktion **24** zur Begrenzung auf die minimal bzw. maximal zulässige Soll-drehzahl ( $\omega_{Min}$ ,  $\omega_{Max}$ ) zugeführt. Die Ausgangsgröße des Druckreglers **20**, **24** ist der Sollwert für die Motordrehzahl  $\omega_{Akt,Soll}$ , der dem Drehzahlregler **21**, **25** als Eingangsgröße übergeben wird.

**[0040]** Der begrenzte Aktuatordrehzahl-Sollwert  $\omega_{Akt,Soll}$  wird in einem weiteren Subtraktionsglied **25** zur Bildung einer Aktuatordrehzahl-Sollwertdifferenz  $\Delta\omega_{Soll}$  mit dem Aktuatordrehzahl-Istwert  $\omega_{Akt}$  verglichen. Die Aktuatordrehzahl-Sollwertdifferenz  $\Delta\omega_{Soll}$  wird dem vorhin erwähnten Drehzahlregler **21** als Eingangsgröße zugeführt, dessen Ausgangsgröße einem Sollwert  $M_{Akt,Soll,Ctrl}$  des vom Aktuator aufzubringenden Drehmoments entspricht. Der Drehmoment-Sollwert  $M_{Akt,Soll,Ctrl}$  wird schließlich in einem zweiten Begrenzungsmodul **26** auf den minimal bzw. maximal zulässigen Momentenwert  $M_{min}$ ,  $M_{max}$  begrenzt und ergibt den Drehmomenten-Sollwert  $M_{Akt,Soll}$  für den Elektromotor. Weitere Eingangsgröße des Drehzahlreglers, der üblicherweise proportional-integrierendes (PI-)Verhalten aufweist, ist die Ist-drehzahl  $\omega_{Akt}$  des Aktuators, die bevorzugt aus der, z.B. zu Kommutierungszwecken meßtechnisch verfügbaren,

Aktuatorposition  $X_{Akt}$  (Messeinrichtung **31** in **Fig. 1**) ermittelt wird.

**[0041]** Die oben erwähnten Staudrücke wirken sich auf die Druckregelung störend aus und führen zur Vermeidung von Schwingungen zu einer etwas vorsichtigeren Abstimmung des Druckreglers. Solange für den Druckregler keine Begrenzungsfunktion aktiv ist, wird er in seinem linearen Bereich betrieben, was dazu führt, dass kleine Regelabweichungen auch nur zu kleinen Solldrehzahlen führen. In beiden Fällen wird daher insbesondere für schnelle Druckaufbauanforderungen aus dem unbetätigten Zustand auf ein niedriges bis mittleres Druckniveau nicht die volle verfügbare Dynamik des Linearaktuators **50** ausgenutzt.

**[0042]** In **Fig. 3** ist eine beispielsweise Regelvorrichtung **201** zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt, welche die oben genannten Nachteile behebt und das Regelverhalten signifikant verbessert.

**[0043]** Beispielsgemäß wird als Druck-Istwert für die Druckregelung nicht grundsätzlich der sensorisch erfasste Istdruck  $P_{V,Ist}$  betrachtet, sondern ein ermittelter Wert  $P_{V,Dach}$  verwendet. Beispielsgemäß wird der Druck-Istwert  $P_{V,Dach}$  in dem Modul zur Berechnung der Druckinformation (Block **40**) bestimmt.

**[0044]** Für das Drucksignal  $P_{V,Dach}$  gilt beispielsweise folgender Zusammenhang:

$$P_{V,Dach} = (1 - \lambda) \cdot P_{V,Ist} + \lambda \cdot P_{V,Modell} \quad (1)$$

**[0045]** Der Druck-Istwert  $P_{V,Dach}$  ergibt sich aus einer mit dem Faktor  $\lambda$  ( $\lambda = 0, \dots, 1$ ) gewichteten Addition der zwei Drucksignale  $P_{V,Ist}$  und  $P_{V,Modell}$ , wobei das eine Signal das bereits erwähnte gemessene Drucksignal  $P_{V,Ist}$  repräsentiert. Das zweite Signal  $P_{V,Modell}$  ist ein berechneter Modelldruck, der aufgrund des gemessenen Wegs  $X_{Akt}$  ermittelt wird, wobei als Modell eine statische Kennlinie oder Funktion ( $f(X_{Akt})$ ) berechnet wird, die die Bremsanlage charakterisierende Abhängigkeit des Ist-Drucks ( $P_{V,Ist}$ ) von der Position ( $X_{Akt}$ ) der Druckbereitstellungseinrichtung **50** darstellt. Mittels des Gewichtungsfaktors  $\lambda$  wird festgelegt, welcher Signalanteil wie stark der Druckregelung (in Form des Druck-Istwerts  $P_{V,Dach}$ ) zugeführt wird.

**[0046]** Beispielsweise ist die (vorgegebene) Kennlinie  $P_{V,Modell} = f(X_{Akt})$  bis zu einem vorgegebenen Positionsgrenzwert  $X_0$  gleich Null (d.h. für  $X_{Akt} \leq X_0$  ist  $P_{V,Modell} = 0$ ) und steigt dann mit wachsendem  $X_{Akt}$  an.

**[0047]** Der Gewichtungsfaktor  $\lambda$  wird in Abhängigkeit des geforderten Soll-druckes  $P_{V,Soll}$  und vorteilhafterweise zusätzlich in Abhängigkeit des geforderten Soll-druckgradienten  $dP_{V,Soll}/dt$  der sich durch die

zeitliche Ableitung des Solldruckes  $P_{V,Soll}$  ergibt, ermittelt.

**[0048]** Im Folgenden wird ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens beschrieben, insbesondere eine beispielesgemäße Bestimmung eines Gewichtungsfaktors  $\lambda$ .

**[0049]** Ist der Solldruck  $P_{V,Soll}$  größer als ein erster vorgegebener Druckwert  $P_2$  ( $P_{V,Soll} > P_2$ ), so wird immer mit dem Sensorsignal Istdruck  $P_{V,Ist}$  geregelt, d.h. der Gewichtungsfaktor  $\lambda$  ist Null,  $\lambda = 0$ , und  $P_{V,Dach} = P_{V,Ist}$ .

**[0050]** Ist der Solldruck  $P_{V,Soll}$  gleich oder kleiner als der erste vorgegebene Druckwert  $P_2$  ( $P_{V,Soll} \leq P_2$ ), so wird zusätzlich der geforderte Solldruckverlauf  $dP_{V,Soll} / dt$  betrachtet.

**[0051]** Überschreitet der Solldruckverlauf  $dP_{V,Soll} / dt$  eine vordefinierte zweite Schwelle  $S_2$ , ist also  $dP_{V,Soll} / dt > S_2$ , so wird  $\lambda = 1$  und die Druckregelung bildet die Regelabweichung mittels der erwähnten Modellgröße  $P_{V,Modell}$ .

**[0052]** Zur Vermeidung von unerwünschten scharfen Übergängen von  $P_{V,Ist}$  nach  $P_{V,Modell}$  (oder andersherum) werden auch Zwischenwerte für den Faktor  $\lambda$  vorgegeben.

**[0053]** Eine Präzisierung des Ausführungsbeispiels zur Bestimmung des Gewichtungsfaktors  $\lambda$ , wie es in Modul 40 umgesetzt sein kann, ist in Fig. 4 dargestellt. Hierbei wird in Block 42 anhand einer vorgegebenen Kennlinie in Abhängigkeit von dem Solldruck  $P_{V,Soll}$  ein erster Parameter  $\lambda_1$  bestimmt. In Block 43 wird anhand einer weiteren vorgegebenen Kennlinie in Abhängigkeit von der Solldruckableitung  $dP_{V,Soll} / dt$  ein zweiter Parameter  $\lambda_2$  bestimmt. Der Gewichtungsfaktor  $\lambda$  wird in Block 44 als Produkt der beiden Parameter  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  bestimmt ( $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2$ ). In Block 45 wird anhand des Gewichtungsfaktors  $\lambda$  und des Zusammenhangs der Gleichung (1) der Druck-Istwert  $P_{V,Dach}$  gerechnet.

**[0054]** Ist der Solldruck  $P_{V,Soll}$  größer als ein erster vorgegebener Druckwert  $P_2$  ( $P_{V,Soll} > P_2$ ), so ist  $\lambda_1 = 0$  und damit  $\lambda = 0$  (unabhängig von  $\lambda_2$ ). Ist der Solldruck  $P_{V,Soll}$  gleich oder kleiner als ein zweiter vorgegebener Druckwert  $P_1$ , so ist  $\lambda_1 = 1$ . Für Solldruckwerte  $P_{V,Soll}$  zwischen den Druckwerten  $P_1$  und  $P_2$  nimmt  $\lambda_1$  beispielesgemäß linear mit  $P_{V,Soll}$  ab. Unterschreitet der Solldruckverlauf  $dP_{V,Soll} / dt$  eine vordefinierte erste Schwelle  $S_1$  (d.h. es wird nur ein langsamer Druckaufbau angefordert), so ist  $\lambda_2 = 0$  und damit  $\lambda = 0$ , d.h. es wird mit dem Sensorsignal Istdruck  $P_{V,Ist}$  geregelt. Überschreitet der Solldruckverlauf  $dP_{V,Soll} / dt$  eine vordefinierte zweite Schwelle  $S_2$  (d.h. es wird ein sehr schneller Druckaufbau angefordert), so ist  $\lambda_2 = 1$ . Für kleine Solldrücke  $P_{V,Soll}$  (d.h.  $P_{V,Soll} < P_1$ ) ist

dann  $\lambda = 1$  (Maximalwert), d.h. es wird mit dem Modellsignal  $P_{V,Modell}$  geregelt, so dass durch Staueffekte beeinflusste (zu große), gemessene Istdrücke  $P_{V,Ist}$  keinen Einfluss auf die Druckregelung nehmen. Zur Vermeidung von unerwünschten scharfen Übergängen bei der Ermittlung des Gewichtungsfaktors  $\lambda$  werden im Bereich zwischen  $P_1$  und  $P_2$  (für  $P_{V,Soll}$ ) bzw. zwischen  $S_1$  und  $S_2$  (für  $dP_{V,Soll} / dt$ ) Zwischenwerte für die Parameter  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  und damit den Faktor  $\lambda$  ermittelt.

**[0055]** Der Druckwert  $P_2$  kann z.B. mehrere 10bar betragen. Die Schwelle  $S_2$  kann z.B. im Bereich von ein oder wenigen 100bar/sec liegen.

**[0056]** Der geforderte Solldruckverlauf  $dP_{V,Soll} / dt$  wird in Block 41 bestimmt. In Fig. 5 ist ein beispielesgemäßes Verfahren zur Bestimmung von  $dP_{V,Soll} / dt$  dargestellt. Bevorzugt wird der geforderte Solldruckverlauf  $dP_{V,Soll} / dt$  mit Hilfe eines differenzierenden Filters (Block 41b) ermittelt, wobei vorteilhafterweise zusätzlich eine Anstiegsbegrenzungsfunktion (optionaler Block 41a) eingeführt wird, so dass auch sprungförmige Änderungen der Druckanforderung  $P_{V,Soll}$  zu einem endlichen Solldruckgradienten  $dP_{V,Soll} / dt$  führen. In Block 41a wird eine sprungförmige Druckanforderung  $P_{V,Soll}$  (durchgezogener Strich in dem rechten Diagramm  $P_{V,Soll}$  als Funktion der Zeit  $t$ ) in eine Druckanforderung  $P_{V,Soll}$  mit z.B. linearem Anstieg (gestrichelter Strich in dem rechten Diagramm  $P_{V,Soll}$  als Funktion der Zeit  $t$ ) umgewandelt.

**[0057]** Durch die beschriebenen Maßnahmen wird erreicht, dass bei langsamen Druckanforderungen der Druckregler immer mit dem gemessenen Drucksensorsignal arbeitet, während bei schnellen Druckanforderungen bis zu einer bestimmten Druckhöhe zunächst auf dem Modellsignal geregelt und erst zur Ausregelung des statischen Zieldruckes das Sensorsignal verwendet wird, wodurch die stationäre Genauigkeit der Druckregelung wieder erreicht wird.

**[0058]** Der Übergang des Druckregelsignals  $P_{V,Dach}$  vom Modellsignal  $P_{V,Modell}$  auf den gemessenen Druckwert  $P_{V,Ist}$  wird durch den Gewichtungsfaktor  $\lambda$  definiert, der beispielsweise entsprechend der in Fig. 4 dargestellten Anordnung ermittelt wird. Dadurch wird insbesondere der auf die Druckregelung störend wirkende Einfluss der eingangs erwähnten Staudrücke minimiert, was zu einer Erhöhung der Druckaufbaudynamik führt. Weiterhin kann aufgrund dessen die Parametrisierung des Druckreglers wesentlich stärker in Hinblick auf verbessertes Führungsverhalten vorgenommen werden.

**[0059]** Zu einem verbesserten Ansprechverhalten, insbesondere bei Verwendung von Radbremsen mit einem vergrößerten Belagluftspiel, wird zur schnelleren Überwindung dieses Luftspiels bevorzugt ei-

ne zusätzliche Erweiterung der in **Fig. 2** dargestellten Reglerstruktur herangezogen, welche eine Erweiterung der Geschwindigkeitsvorsteuerung betrifft und in **Fig. 3** gestrichelt dargestellt ist (Block **22a** und Anbindungen). Neben der bereits erwähnten Vorsteuerdrehzahl  $\omega_{\text{Akt,Soll,DR,FFW}}$ , die sich aufgrund des Solldruckgradienten ergibt (Block **22**), wird beispielsweise eine zusätzliche Motordrehzahlkomponente  $\omega_{\text{add}}$  als Vorsteuergröße vorgesehen (Block **22a**), die beispielsweise von der Größe des zu überwindenden Lüftspiels ( $X_L$ ) abhängt. Diese zusätzliche Motordrehzahlkomponente  $\omega_{\text{add}}$  wird bei einem angeforderten Druckaufbau der Vorsteuerdrehzahl  $\omega_{\text{Akt,Soll,DR,FFW}}$  additiv überlagert, solange das Lüftspiel ( $X_L$ ) noch nicht überwunden ist. Eine beispielsweise Kennlinie für die Motordrehzahlkomponente  $\omega_{\text{add}}$  als Funktion des aktuell gemessenen Aktuatorweges  $X_{\text{Akt}}$  ist in **Fig. 6** dargestellt. Der Grenzwert  $X_L$  entspricht vorteilhafterweise dem Wert Positionsgrenzwert  $X_0$  des zugrunde liegenden Modells (siehe oben Kennlinie  $P_{V,\text{Modell}} = f(X_{\text{Akt}})$ ). Die Größe der zusätzlichen Drehzahlkomponente  $\omega_{\text{add}}$  kann auch (zusätzlich) abhängig vom angeforderten Solldruckgradienten  $dP_{V,\text{Soll}}/dt$  vorgegeben sein.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- WO 2008/025797 A1 [0003]
- DE 102011076675 A1 [0004]



## Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer Bremsanlage für Kraftfahrzeuge mit einer hydraulisch betätigbaren Radbremse (9), welche mittels einer elektronisch steuerbaren Druckbereitstellungseinrichtung (50) betätigbar ist, die eine Zylinder-Kolben-Anordnung mit einem hydraulischen Druckraum (4) umfasst, deren Kolben (3) durch einen elektromechanischen Aktuator (1) verschiebbar ist, so dass ein vorgegebener Druck-Sollwert ( $P_{V,Soll}$ ) in dem hydraulischen Druckraum (4) einstellbar ist, wobei eine Position ( $X_{Akt}$ ) der Druckbereitstellungseinrichtung (50) erfaßt wird (31), und wobei mittels einer Messeinrichtung (32) ein Ist-Druck ( $P_{V,Ist}$ ) der Druckbereitstellungseinrichtung (50) bestimmt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass Stellgrößen ( $\omega_{Akt,Soll}$ ,  $M_{Akt,Soll}$ ) für den elektromechanischen Aktuator (1) anhand des vorgegebenen Druck-Sollwerts ( $P_{V,Soll}$ ) und eines Druck-Istwerts ( $P_{V,Dach}$ ) gebildet werden, wobei der Druck-Istwert ( $P_{V,Dach}$ ) in Abhängigkeit von dem Druck-Sollwert ( $P_{V,Soll}$ ) durch gewichtete Addition des Ist-Drucks ( $P_{V,Ist}$ ) und eines aus einer aktuellen Position ( $X_{Akt}$ ) der Druckbereitstellungseinrichtung berechneten Modell-Drucks ( $P_{V,Mod}$ ) bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druck-Istwert ( $P_{V,Dach}$ ) in Abhängigkeit von der zeitlichen Ableitung des vorgegebenen Druck-Sollwerts ( $dP_{V,Soll}/dt$ ) bestimmt oder gewählt wird (40, 43).

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Gewichtungsfaktor ( $\lambda$ ) für die gewichtete Addition in Abhängigkeit von dem Druck-Sollwert ( $P_{V,Soll}$ ) bestimmt wird (42).

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gewichtungsfaktor ( $\lambda$ ) für die gewichtete Addition in Abhängigkeit von der zeitlichen Ableitung des vorgegebenen Druck-Sollwerts ( $dP_{V,Soll}/dt$ ) bestimmt wird (43).

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druck-Istwert ( $P_{V,Dach}$ ) gleich dem Ist-Druck ( $P_{V,Ist}$ ) ist, wenn der Druck-Sollwert ( $P_{V,Soll}$ ) oberhalb eines vorgegebenen Druck-Schwellenwertes ( $P_2$ ) liegt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zeitliche Ableitung des vorgegebenen Druck-Sollwerts ( $dP_{V,Soll}/dt$ ) mit einem vorgegebenen Schwellenwert ( $S_1$ ,  $S_2$ ) verglichen wird, wenn der Druck-Sollwert ( $P_{V,Soll}$ ) unterhalb des vorgegebenen Druck-Schwellenwertes ( $P_2$ ) liegt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druck-Istwert ( $P_{V,Dach}$ ) gleich dem Modell-Druck ( $P_{V,Mod}$ ) ist, wenn

die zeitliche Ableitung des vorgegebenen Druck-Sollwerts ( $dP_{V,Soll}/dt$ ) oberhalb des vorgegebenen Schwellenwertes ( $S_2$ ) liegt und wenn der Druck-Sollwert ( $P_{V,Soll}$ ) unterhalb eines vorgegebenen zweiten Druck-Schwellenwertes ( $P_1$ ) liegt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Modell-Druck ( $P_{V,Mod}$ ) gemäß einer vorgegebenen Kennlinie oder Funktion ( $f(X_{Akt})$ ) berechnet wird, die die Bremsanlage charakterisierende Abhängigkeit des Ist-Drucks ( $P_{V,Ist}$ ) von der Position ( $X_{Akt}$ ) der Druckbereitstellungseinrichtung (50) darstellt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druck-Sollwert ( $P_{V,Soll}$ ) und der Druck-Istwert ( $P_{V,Dach}$ ) einem Druckregler (20) mit einem nachgeschalteten Geschwindigkeitsregler (21) zugeführt werden, wobei eine Geschwindigkeitsvorsteuerung (22a) vorgesehen ist, deren Ausgangsgröße ( $\omega_{add}$ ) in Abhängigkeit der aktuellen Position ( $X_{Akt}$ ) der Druckbereitstellungseinrichtung (50) bestimmt wird.

10. Regelvorrichtung (201), welche abhängig von einem Druck-Istwert ( $P_{V,Dach}$ ) und einem vorgegebenen Druck-Sollwert ( $P_{V,Soll}$ ) Stellgrößen ( $\omega_{Akt,Soll}$ ,  $M_{Akt,Soll}$ ) für den elektromechanischen Aktuator (1) bildet, mit einem Druckregler (20) und einem dem Druckregler nachgeschalteten Geschwindigkeitsregler (21), wobei dem Geschwindigkeitsregler (21) als Eingangsgrößen die einen Aktuatorgeschwindigkeit-Sollwert darstellende Stellgröße ( $\omega_{Akt,Soll}$ ) und ein Aktuatorgeschwindigkeit-Istwert ( $\omega_{Akt}$ ) zugeführt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass Mittel (40) vorgesehen sind, welche den Druck-Istwert ( $P_{V,Dach}$ ) nach einem der Ansprüche 1 bis 9 bestimmen und dem Druckregler (20) zuführen.

11. Regelvorrichtung (201) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druckregler (20) einen ersten Aktuatorgeschwindigkeit-Sollwert ( $\omega_{Akt,Soll,DR,Ctrl}$ ) ausgibt, aus dem Druck-Sollwert ( $P_{V,Soll}$ ), insbesondere der zeitlichen Ableitung des Druck-Sollwerts, ein zweiter Aktuatorgeschwindigkeit-Sollwert ( $\omega_{Akt,Soll,DR,FFW}$ ) bestimmt wird (22), zumindest aus der Position ( $X_{Akt}$ ) der Druckbereitstellungseinrichtung (50) ein dritter Aktuatorgeschwindigkeit-Sollwert ( $\omega_{add}$ ) bestimmt wird (22a), und anhand des ersten, des zweiten und des dritten Aktuatorgeschwindigkeit-Sollwert ( $\omega_{Akt,Soll,DR,Ctrl}$ ,  $\omega_{Akt,Soll,DR,FFW}$ ,  $\omega_{add}$ ) die den Aktuatorgeschwindigkeit-Sollwert darstellende Stellgröße ( $\omega_{Akt,Soll}$ ) für den

12. Geschwindigkeitsregler (21) bestimmt wird Bremsanlage für Kraftfahrzeuge mit zumindest einer hydraulisch betätigbaren Radbremse (9), mit einer elektronisch ansteuerbaren Druckbereitstellungseinrichtung (50) zur Betätigung der Radbremse (9), die eine Zylinder-Kolben-Anordnung mit einem hy-

draulischen Druckraum (4) umfasst, deren Kolben (3) durch einen elektromechanischen Aktuator (1) verschiebbar ist, mit einer Messeinrichtung (32) zur Bestimmung eines Ist-Drucks ( $P_{V,Ist}$ ) der Druckbereitstellungseinrichtung (50), mit Mitteln, die direkt oder indirekt eine Position ( $X_{Akt}$ ) der Druckbereitstellungseinrichtung (50), insbesondere des Aktuators (1), bestimmen, und mit einer elektronischen Steuer- und Regeleinheit zur Ansteuerung des elektromechanischen Aktuators (1), **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektronische Steuer- und Regeleinheit (33) eine Regelvorrichtung (201) nach Anspruch 10 oder 11 umfasst, welche abhängig von einem Druck-Istwert ( $P_{V,Dach}$ ) und dem vorgegebenen Druck-Sollwert ( $P_{V,Soll}$ ) Stellgrößen ( $\omega_{Akt,Soll}$ ,  $M_{Akt,Soll}$ ) für den elektromechanischen Aktuator (1) bildet, wobei Mittel (40) vorgesehen sind, mittels derer ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9 durchgeführt wird.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

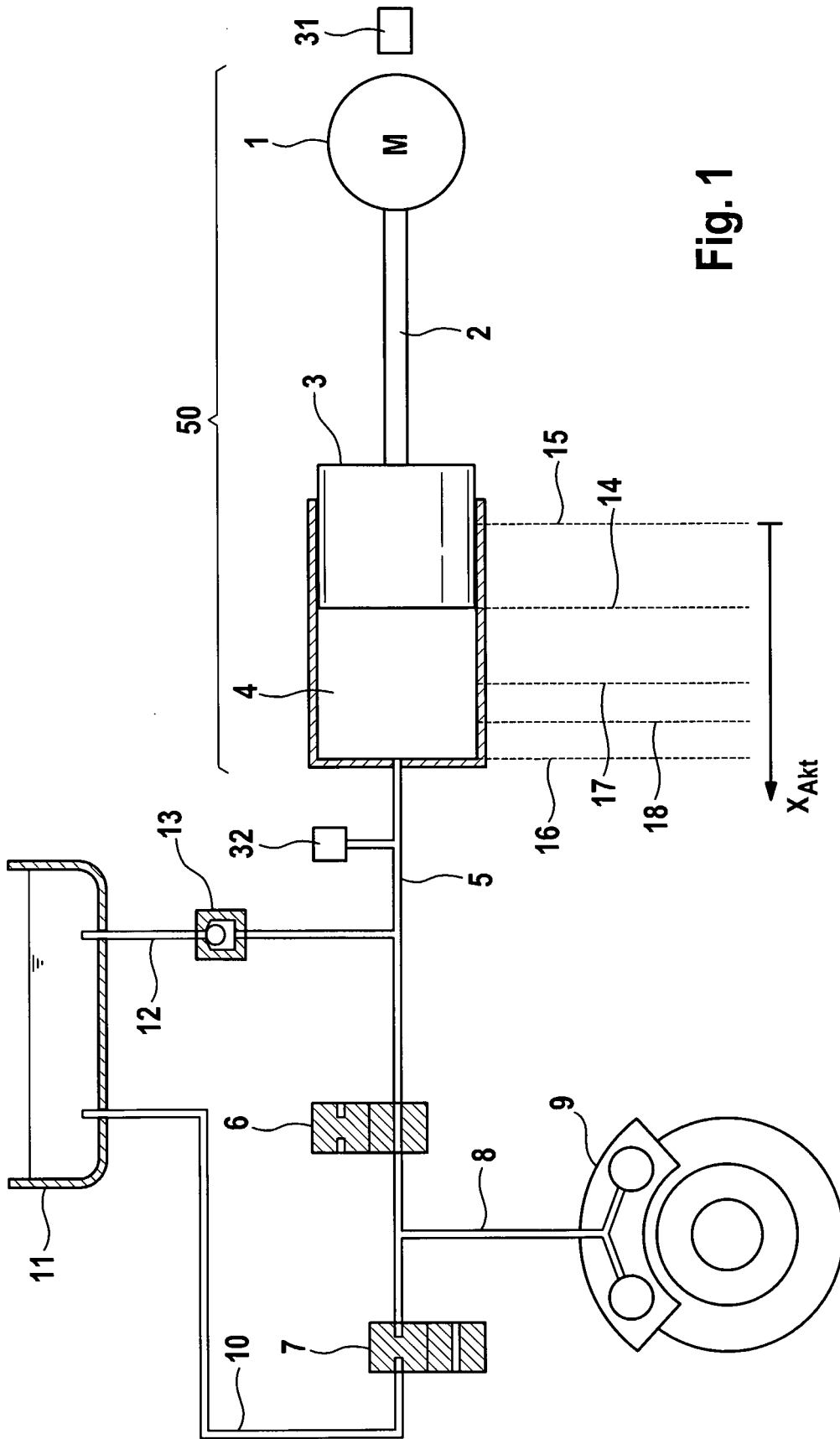


Fig. 1

Fig. 2

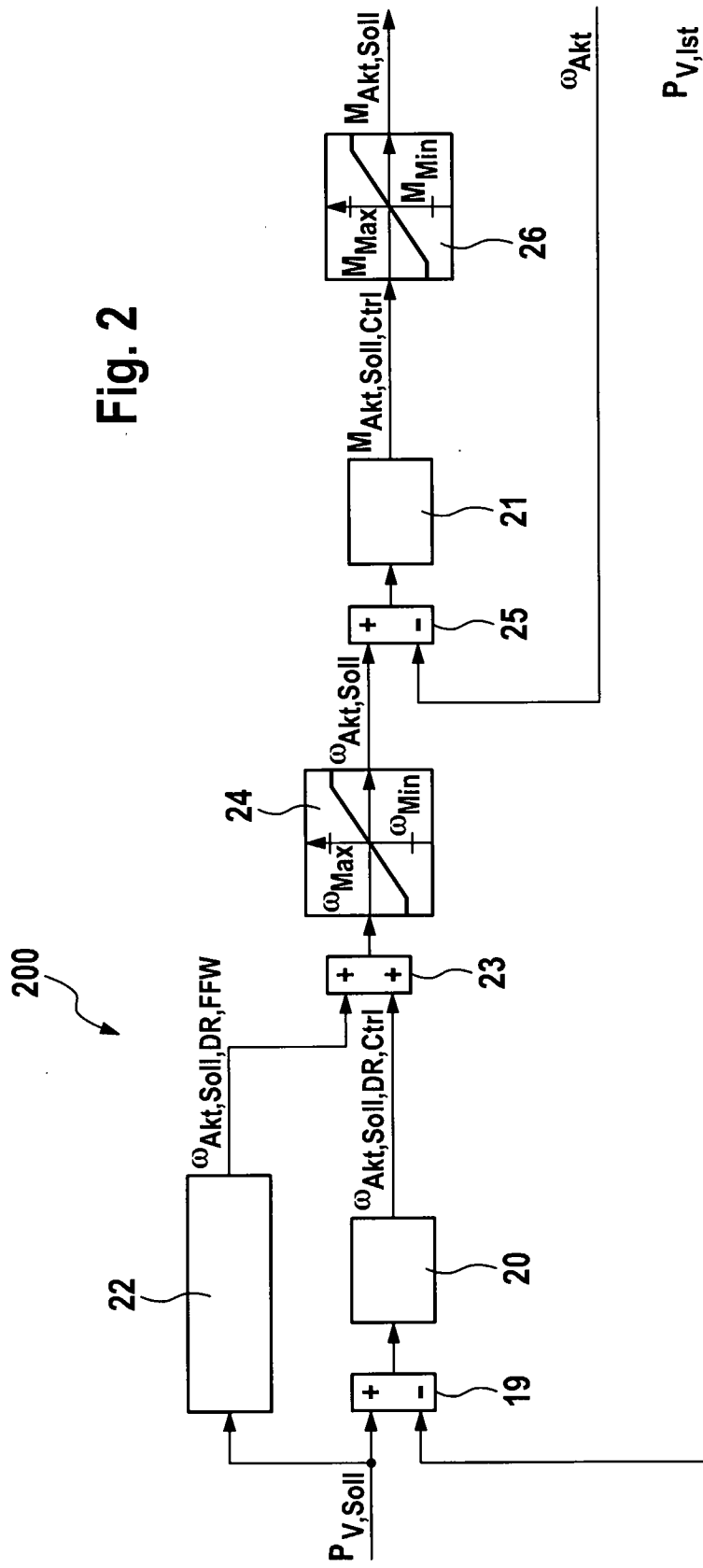


Fig. 3

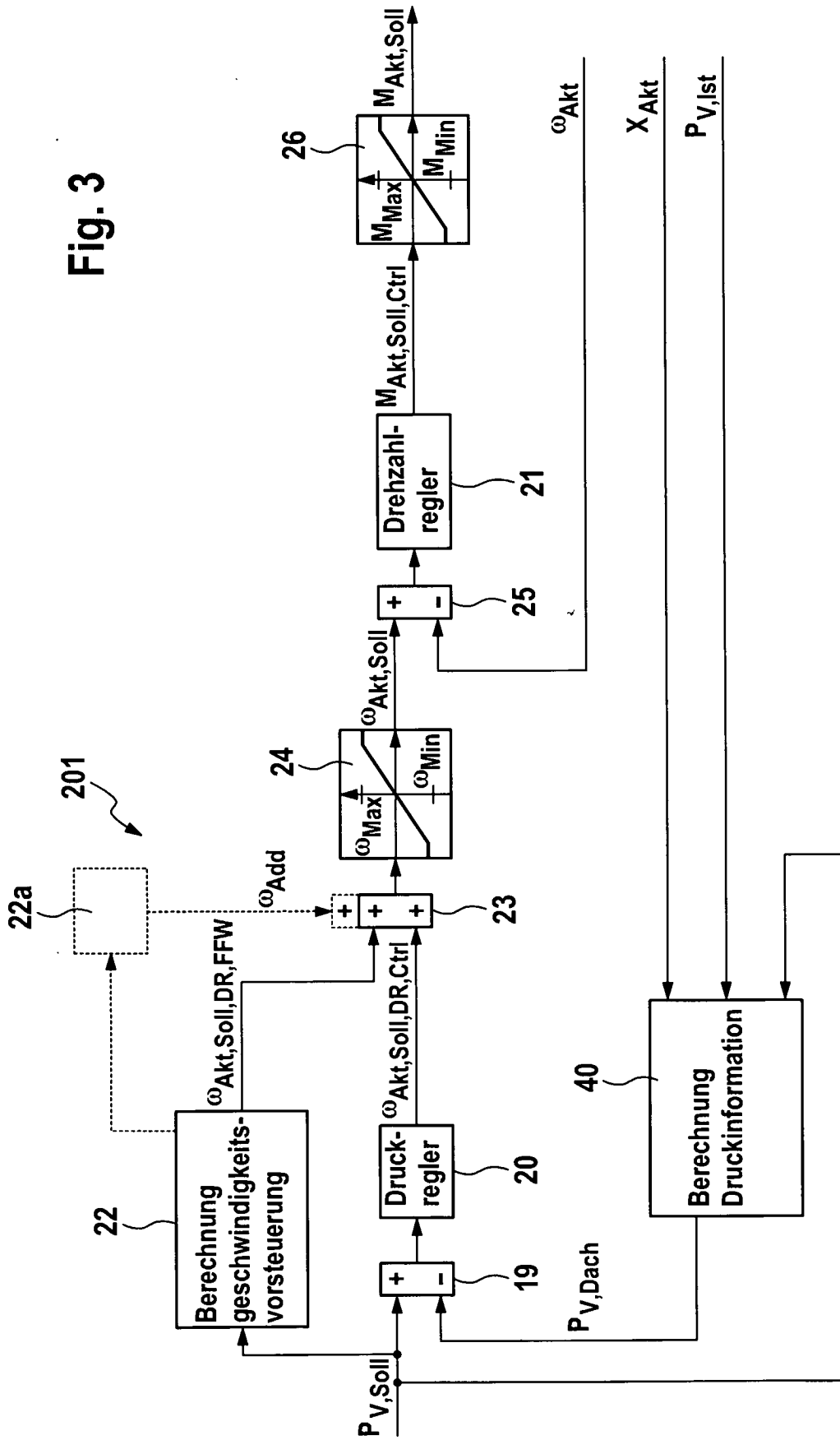
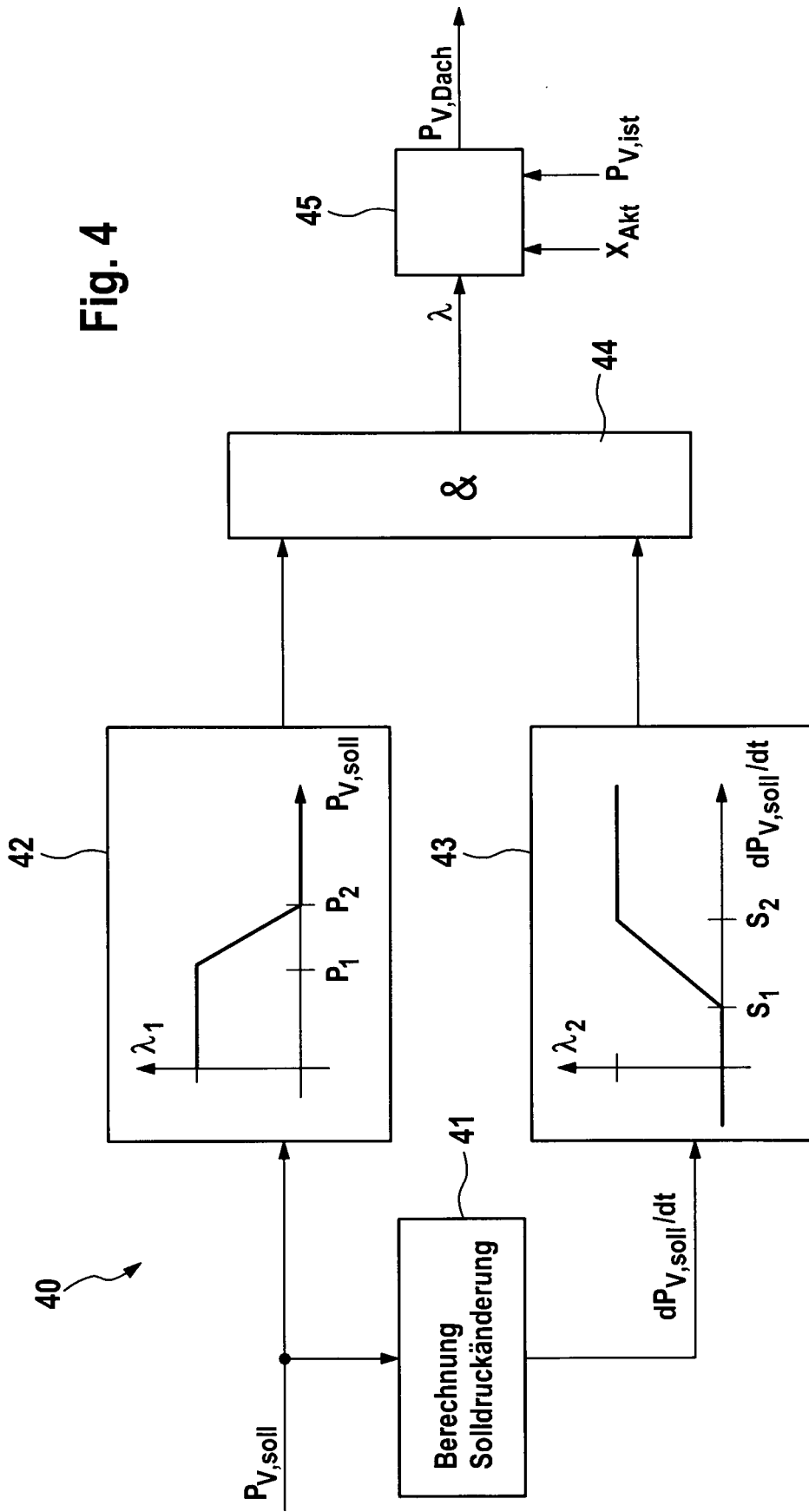


Fig. 4



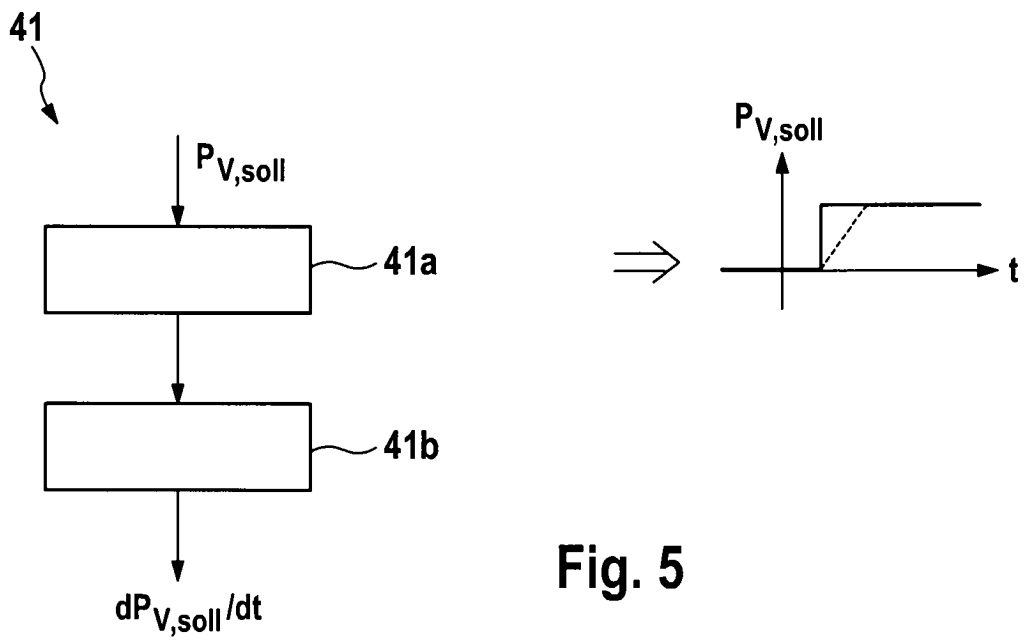


Fig. 5

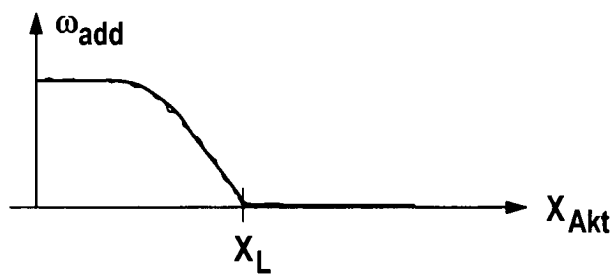


Fig. 6