



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 103 858.7**

(22) Anmeldetag: **16.03.2015**

(43) Offenlegungstag: **22.09.2016**

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

B60T 8/32 (2006.01)

(71) Anmelder:
IPGATE AG, Pfäffikon, CH

(74) Vertreter:
**Lenzing Gerber Stute Partnerschaftsgesellschaft
von Patentanwälten m. b. B., 40212 Düsseldorf,
DE**

(72) Erfinder:
**Leiber, Thomas, Dr., 81675 München, DE;
Köglspurger, Christian, 82538 Geretsried, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

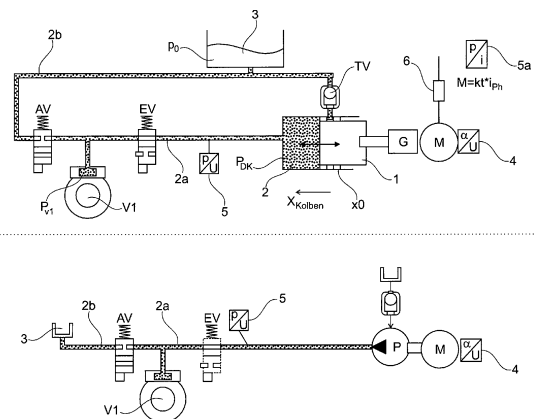
DE	10 2011 077 329	A1
DE	10 2011 085 273	A1
DE	10 2012 025 291	A1
DE	10 2012 200 705	A1
DE	10 2013 210 563	A1
DE	10 2014 107 112	A1
EP	1 874 602	B1
WO	2015/ 036 623	A2

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

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Druckregelung von elektrohydraulischen Systemen, insbesondere Druckregelverfahren für eine elektrohydraulische Bremsanlage**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Druckregelung von hydraulischen Systemen, insbesondere Druckregelvorrichtung für eine elektromechanische Bremsanlage, mit einer von einem Motor angetriebenen Fördereinrichtung bzw. Fördereinheit, insbesondere Zylinder-Kolben-Einheit mit Druckaufbau und Druckabbauregelmöglichkeit, mit zumindest einem Druckraum (2), der über eine Hydraulikleitung (2a) und ein Einlassventil (EV) mit zumindest einem Verbraucher (V1, V2), insbesondere Bremszylinder verbunden ist und mit zumindest einem Auslassventil (AV) für den bzw. die Verbraucher (V1, V2) zur Verbindung des Verbrauchers (V1, V2) mit einem Vorratsbehälter, dadurch gekennzeichnet, dass die Fördereinrichtung, druckgeregelt als Stellglied für die Druckregelung verwendet wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Druckregelung von hydraulischen Systemen, insbesondere elektrohydraulische Bremsystemen gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

Stand der Technik

[0002] Druckregelverfahren für Fahrdynamiksysteme nach dem Stand der Technik sind im Bremsenhandbuch (4. Auflage, Bert Breuer, Karlheinz Bill, Springer Vieweg) auf den Seiten 434ff. ausführlich beschrieben.

[0003] Entsprechend des Standes der Technik werden in herkömmlichen ABS/ESP Systemen sog. Rückfördersysteme eingesetzt (Abbildung 20.12 Bremsenhandbuch S. 434). Im Regelbetrieb (ABS-Betrieb) erfolgt die Druckregelung über Zeitsteuerung von Einlass- und Auslassventilen. Um die Druckregelung zu verbessern, werden die Ventile per Pulsweitenmodulation (PWM) gesteuert. Das klassische Verfahren ist sehr aufwändig und benötigt sehr genaue Modelle, da bei der Zeitsteuerung zahlreiche nichtlineare Effekte (Spulentemperatur, Druckdifferenz, Viskosität, Toleranzen der Ventile und Druckniveau) in der Regelung abgebildet werden müssen.

[0004] Vom Anmelder wurde 2005 das als Multiplexdruckregelung bekannte Verfahren in einer Bremsanlage eingeführt (Europäisches Patent EP 1874602), in der über einen verstellbaren Kolben und einem jeweils einem Rad zugeordneten Schaltventil der Druck über eine Druckvolumenkennlinie und Wegsteuerung des Kolbens geregelt wird. Eine weitere Vorrichtung mit der Multiplexregelung ist in DE 10 2011 085 273 offenbart.

[0005] In einer derartigen Regelung werden die Ventile geöffnet, der Druck über Wegsteuerung über Druckvolumen/Druckwegkennlinie aufgebaut (Vorfahren des Kolbens) oder abgebaut (Rückfahren des Kolbens) und nach Erreichen des Istdruckes werden die Ventile geschlossen. Die Drücke in den unterschiedlichen Rädern werden in kurzer zeitlicher Abfolge nacheinander geregelt bzw. auch teilweise simultan geregelt. Auch bei diesem Verfahren ist der Druckkolben bzw. der positionsgeregelte Druckkolben das Stellglied für die Druckregelung.

[0006] Vorteilhaft am derartigen Regelverfahren ist die hohe Druckstellgenauigkeit und die Regelung im geschlossenen Bremskreis. Dieses Verfahren stellt zudem geringe Anforderungen an die Toleranzen der Schaltventile. Nachteilig sind die hohen Anforderungen an die Dynamik des Verstellantriebes sowie die großen Öffnungsquerschnitte und Öffnungsdruckfestigkeit der Schaltventile. Aufgrund der Mehrkosten für

Verstellmotor und Ventile hat sich ein derartiges Regelverfahren am Markt noch nicht durchgesetzt.

[0007] Bekannt im Stand der Technik sind ferner Kolbenregelungen, bei denen der Druckaufbau und Druckabbau im Bremsverstärkerbetrieb über einen Kolben geregelt wird und im ABS-Betrieb über einen Kolben ein konstanter Vordruck eingestellt wird und mit Einlass- und Auslassventilen über Zeitsteuerung/PWM-Steuerung der Druckabbau geregelt wird (DE 10 2013 210 563 A1). Damit kann das Regelverfahren gemäß Stand der Technik für Komfortbremsungen verbessert und die Zeitsteuerung verbessert werden, da der Vordruck im Vergleich zu Förderpumpen weniger schwankt.

[0008] In der PCT/EP 2014/069723 der Anmelderin wurde eine neuartige Doppelhubkolbeneinheit dargestellt, welche den Druck im Vor- und Rückhub mit minimaler Zeitunterbrechung aufbaut und abbaut bzw. Volumen kontinuierlich fördert und zudem über ein Schaltventil eine Umschaltung von hydraulisch wirksamen Flächen im Vor- und Rückhub ermöglicht.

Aufgabe der Erfindung

[0009] Aufgabe der Erfindung ist, ein neuartiges Regelverfahren für unterschiedliche Druckregelvorrichtungen zu entwickeln, das mit geringem Aufwand (Kosten, Anzahl Komponenten) und Baugröße eine sehr hohe Druckregelgüte ermöglicht sowie die Gestaltung einer vorteilhaften einfachen Vorrichtung vorzugsweise einer Hydrauliksystem mit Hauptbremszylinder für eine Bremsanlage.

Lösung der Aufgabe

[0010] Die Aufgabe der Erfindung wird durch die Merkmale des Patentanspruches 1 (Verfahren) bzw. des Patentanspruches 24 (Vorrichtung) gelöst.

[0011] Mit einer ersten Ausführung der erfindungsgemäßen Lösung wird über einen Antriebsmotor und eine Getriebe-Einheit ein Kolben betätigt, der auf einen hydraulischen Druckraum wirkt. Der Druckraum ist über je ein Einlassventil mit jedem hydraulischen Verbraucher (z. B. Bremssattel) verbunden. Die Verbraucher sind mit einem oder mehreren Auslassventilen mit einem Rücklauf verbunden. Bei einem Verbraucher ist ein Auslassventil erforderlich, bei mehreren Verbrauchern ist mindestens ein Ventil erforderlich, d. h. gegenüber dem Stand der Technik ist es nicht erforderlich, dass für jeden Verbraucher ein Einlass- und Auslassventil vorzusehen ist. Aus Sicherheitsgründen ist für jeden hydraulischen Kreis, insbesondere Bremskreis mit je zwei Bremssätteln, jedoch ein Auslassventil sinnvoll. Der hydraulische Druckraum kann mit einem Vorratsbehälter vorzugsweise über ein (Rückschlag) Ventil verbunden werden. Als Druckerzeugereinheit wird ein Einfachhub-

oder Doppelhubkolben eingesetzt, der Druck aufbauen und Druck abbauen kann. Der Doppelhubkolben kann zudem durch Vor- und Rückhub kontinuierlich fördern.

[0012] In einer zweiten Ausführung des hydraulischen Systems der erfindungsgemäßen Lösung wird eine über einen Antriebsmotor angetriebene druckgeregelte Pumpe mit variabler Förderleistung bzw. ein über den Motor angetriebener Doppelhubkolben eingesetzt. Diese Druckerzeugereinheit kann kontinuierlich Volumen fördern bzw. Druck aufbauen. Für diese Druckversorgereinrichtung ist ebenfalls ein Auslassventil mit Verbindung zum Vorratsbehälter und optional ein Einlassventil dem hydraulischen Verbraucher vorgeschaltet.

[0013] Mit der erfindungsgemäßen Lösung werden für beide Ausführungen der hydraulischen Systeme neuartige Druckregelverfahren mit hoher Druckregelgüte beschrieben.

[0014] Mit der erfindungsgemäßen Lösung und ihren nachfolgend beschriebenen vorteilhaften Ausführungsformen bzw. Ausgestaltungen wird überdies die Anzahl an Komponenten und Anforderungen an die Systemkomponenten (Toleranzen, Dynamik) reduziert und zudem der Einsatz von kostengünstigen Standardkomponenten, die in großen Stückzahlen gefertigt werden, ermöglicht. Zudem wird ein Downsizing von Komponenten (kleinere Ventile und Antriebsmotoren) durch dieses Verfahren und den Einsatz einer vorteilhaften Druckerzeugereinheit (Doppelhubkolben mit schaltbarem Querschnitt) ermöglicht.

[0015] Die neuartige Regelung eignet sich insbesondere für den Einsatz in automatischen Fahrzeugregelsystemen wie ABS, ESP, TCS.

[0016] Das erfindungsgemäße Regelverfahren weist verschiedene Druckregelverfahrensabläufe bzw. Verfahrensmodi auf, die sinnvollerweise kombiniert werden bzw. für unterschiedliche Betriebszustände eingesetzt werden:

1. Eine präzise Druckabbauregelung (erste Ausführung des Verfahrens bzw. hydraulischen Systems), in dem eines oder mehrere Auslassventile zum Vorratsbehälter gezielt geöffnet und über Kolben- bzw. Pumpendruckregelung der Druck ohne PWM-Steuerung der Auslassventile kontrolliert abgebaut wird. Dieses Verfahren wird im Folgenden mit „Druckabbauregelung im offenen Bremskreis“ bezeichnet.

2. Ein neuartiges Teilmultiplexverfahren mit einer Fördereinrichtung bzw. Druckerzeugereinheit, die keinen Druck abbauen kann (zweite Ausführung des Verfahrens bzw. hydraulischen Systems), in dem der Druck über Druck-Volumen-Kennlinie im geschlossenen Bremskreis geregelt aufgebaut

wird und durch Öffnen eines oder mehrerer Auslassventile mit „Druckabbauregelung im offenen Bremskreis“ gemäß des ersten Teilverfahrens abgebaut wird, wobei die Druckregelung teilweise sequentiell abläuft d. h. bei Druckabbau in einem Verbraucher vorzugsweise der Druck in den anderen Verbrauchern konstant gehalten wird.

3. Druckregelung während Druckaufbau im geschlossenen Bremskreis auf Basis einer Druckvolumenkennlinie für Einfachhub- oder Doppelhubkolben mit Offset-Korrektur bei Volumenverlust in Folge von Bremskreisöffnung über Auslassventile sowie Steigungsanpassung bei Umschalten des Doppelhubkolbens über Kombination des ersten Verfahrens mit der bekannten Multiplexregelung, d. h. Einsatz der „Druckabbauregelung im offenen Bremskreis“ vorzugsweise im Regelbetrieb (ABS, ESP) sowie Multiplexregelung auf Basis einer Druck-Volumenkennlinie simultan oder sequentiell im geschlossenen Bremskreis (z. B. Bremskraftverstärkerbetrieb, Rekuperationsregelung).

[0017] Die „Druckabbauregelung im offenen Bremskreis“ (erstes Teilverfahren) umfasst drei Verfahrensmodi:

In einem ersten Verfahrensmodus werden ein oder mehrere Auslassventile zum Vorratsbehälter geöffnet. Auch die Einlassventile können geöffnet sein. Zumindest müssen aber jene Einlassventile geöffnet sein, bei welchen auch das zugeordnete Auslassventil geöffnet ist. Zeitgleich fördert der Kolben der Zylinder-Kolben-Einheit Volumen in die Bremskreise. Durch das druckgeregelte bzw. druckgesteuerte Volumenfördern des Kolbens kann der Systemdruck genau eingestellt werden. Die Druckregelung bzw. Drucksteuerung nutzt dabei zweckmäßig insbesondere einen Drucksensor im Bremskreis und kann ergänzt werden von einer Druckschätzung mittels Drehmomentberechnung des Elektromotors, insbesondere über Auswertung des Phasenstroms und Getriebeübersetzung/Wirkungsgrad.

[0018] In einem zweiten Verfahrensmodus entnimmt der Kolben der Fördereinrichtung bzw. der Druckerzeugereinheit aus den Bremskreisen Volumen. Dabei wird insbesondere die Ventilschaltung gem. dem ersten Verfahrensmodus gewählt. Durch das Entnehmen von Volumen aus den Bremskreisen wird ein geringer Druck im Hydraulikkolben im Vergleich zum Verbraucher eingestellt. Das Volumen fließt damit über die Auslassventil(e) in den Vorratsbehälter und zusätzlich über Einlassventil(e) in den Hydraulikraum des Kolbens. Dadurch kann ein sehr hoher Druckabbaugradient erreicht werden. Zur Unterstützung des Verfahrens kann der Druck im Kolben über den Phasenstrom geschätzt werden.

[0019] In einem dritten Verfahrensmodus wird ein Ventil zum Vorratsbehälter geöffnet. Der Kolben der Druckerzeugereinheit saugt zeitgleich Volumen aus

den Bremskreisen an. Durch Unterdruck im Kolben kann Volumen aus dem Vorratsbehälter in den hydraulischen Druckraum gefördert werden. Volumen, das beim Druckabbau über Auslassventile verloren gegangen ist bzw. in den Vorratsbehälter gefördert wurde, kann somit in den Druckraum wieder gefördert werden.

[0020] Alle drei Verfahrensabläufe bzw. -modi sind dadurch gekennzeichnet, dass jeweils der Druckkolben bzw. der positionsgeregelte Druckkolben als Stellglied für die Druckregelung verwendet wird.

[0021] Das Teilmultiplexverfahren umfasst drei Verfahrensmodi (**Fig. 4a ff.**), wobei der erste Verfahrensmodus der „Druckabbauregelung im offenen Bremskreis“ eingesetzt wird:

In einem ersten Verfahrensmodus wird der Druck über die Druckerzeugereinheit in einem oder mehreren Verbrauchern durch Regelung der Fördereinheit entsprechend der Druckvolumenkennlinie aufgebaut. Die Auslassventile sind geschlossen, Druck in den Verbrauchern kann gleichzeitig oder sequentiell aufgebaut werden. Die Einlassventile (die als Schaltventile ohne große Drosselwirkung ausgeführt sind) sind geöffnet, bis der Druck erreicht ist. Sobald der Soll-druck eines Verbrauchers erreicht ist, wird das zugehörige Einlassventil geschlossen, der Druck im zweiten Verbraucher kann dann kontrolliert weiter aufgebaut werden.

[0022] In einem zweiten Verfahrensmodus wird der Druck in einem oder mehreren Ventilen durch Einsatz der „Druckabbauregelung im offenen Bremskreis“ (erstes Teilverfahren) abgebaut. Dazu wird das Einlassventil zum Verbraucher und eines oder mehrere Auslassventile zum Vorratsbehälter geöffnet. Durch Auswahl der Anzahl der zu öffnenden Auslassventile kann der max. Druckabbaugradient eingestellt werden. Während der Druck in einem Verbraucher abgebaut wird, wird der Druck in den anderen Verbrauchern vorzugsweise konstant gehalten. Die Druckabbauregelung erfolgt dann sequentiell. Dieser Ablauf ist vorteilhaft im Hinblick auf Geräusche. Der Druck kann bei Bedarf auch simultan abgebaut werden, wenn mehrere Einlassventile gleichzeitig geöffnet sind.

[0023] In einem dritten Verfahrensmodus wird Druck in einem Verbraucher entsprechend der Druckvolumenkennlinie aufgebaut (geöffnetes Einlassventil zum Verbraucher), während gleichzeitig der Druck in einem anderen Verbraucher abgebaut wird. Im zweiten Verbraucher ist das Einlassventil zum Verbraucher geschlossen und das Auslassventil wird geöffnet. Der Druckabbau wird durch den Volumenflussquerschnitt des Auslassventils vorgegeben und erfolgt ohne Regelung der Druckerzeugereinheit. Hier kann zur Druckregelung ein PWM-Verfahren eingesetzt werden.

[0024] Durch das Öffnen der Auslassventile in den o. g. Verfahren geht jeweils Volumen in der Druckerzeugereinheit verloren. Dies führt zu einer Verschiebung der Druckvolumenkennlinie und erfordert eine Neukalibrierung der hinterlegten Druckvolumenkennlinie nach Abschluss eines Regelvorganges.

[0025] Die Druckabbauregelung im offenen Bremskreis wird vorteilhaft kombiniert mit der sog. Multiplexregelung, in dem der Druck in den verschiedenen Verbrauchern nacheinander über Kolbenwegsteuerung eingestellt wird und die Ventile nur als Schaltventile (Auf/Zu) ohne PWM gesteuert werden.

[0026] Die Verfahrensmodi werden nachfolgend detaillierter beschrieben für zwei unterschiedliche Druckerzeugereinheiten, einem Einfachhub- und einem Doppelhubkolben. Der Einfachhubkolben baut im Vorhub Druck auf bzw. fördert Volumen und baut im Rückhub Druck ab. Der Doppelhubkolben kann in beide Hubrichtungen Druck aufbauen bzw. Volumen fördern. Der Doppelhubkolben kann auch derart ausgeführt werden, dass Druck abgebaut werden kann in einer Hubrichtung. Welche Situation sich ergibt, hängt dabei jeweils maßgeblich von der jeweils gewählten Ventilschaltung und Ventilstellung ab.

[0027] Bestandteil der neuartigen Regelung ist ein bekanntes Verfahren, in dem der Druck über ein Verstellen des Kolbens sowie Öffnen des Einlassventils zum Verbraucher aufgebaut wird. Das Auslassventil zum Vorratsbehälter/Rücklauf ist in dieser Phase geschlossen. Entsprechend einer Druckvolumenkennlinie gibt es einen nichtlinearen Zusammenhang zwischen Verstellweg des Kolbens und Druck. Der Systemdruck wird hierbei mit Hilfe eines druckgeregelten bzw. druckgesteuerten Druckkolbens eingestellt. Idealerweise wird der Druckkolben in einer weiteren Regelkaskade bereits positionsgeregelt. Somit ist eine Vorsteuerung über eine Druck-Volumen-Kennlinie einfach umsetzbar. Der Druck kann zudem über den Strom des Elektromotors (Strom-Drehmoment-Zusammenhang) und der Getriebeübersetzung berechnet werden. Damit könnte bei der Druckaufbauregelung auf die Nutzung eines Druckgebers verzichtet werden. Der Druckabbau erfolgt ebenfalls durch druckgeregeltes bzw. druckgesteuertes Rückfahren/Volumen Entnehmen des Druckkolbens.

[0028] Dieser Verfahrensmodus wird bei der Druckstellung im Druckverstärkungsmodus primär eingesetzt, wenn keine Drücke in unterschiedlichen Verbrauchern geregelt werden müssen (ABS, ESP). Der Vorteil ist die Regelung im geschlossenen Hydraulikkreis, insbesondere Bremskreis, da kein Volumen über den Vorratsbehälter abgelassen wird. Zudem kann der Volumenhaushalt der Druckerzeugereinheit gering gehalten werden.

[0029] Im einem ersten Bestandteil bzw. Modus der „Druckabbauregelung im offenen Bremskreis“, der insbesondere vorzugsweise im Regelbetrieb eingesetzt wird (z. B. ABS, ESP, TCS, Druckabbau im BKV-Betrieb), werden ein oder mehrere Auslassventile zum Vorratsbehälter geöffnet. Auch die Einlassventile können geöffnet sein. Zumindest müssen aber jene Einlassventile geöffnet werden, bei welchen auch das zugeordnete Auslassventil geöffnet ist.

[0030] Der Druckabbau kann in vielfältiger Weise durch Volumenförderung des Kolbens in die Bremskreise beeinflusst werden. Dadurch können beliebige Druckabbaugradienten erzielt werden (konstanter Druckabbaugradient, Druck konstant halten trotz geöffnetem Auslassventil, optimale Druckabbauregelung). Der Druck kann sogar erhöht werden, bei entsprechend hoher Volumenförderer durch den Kolben, wenn der Druck im Druckkolben größer ist als im Verbraucher.

[0031] Dieser Verfahrensmodus kann auch für genauen/geregelten Druckabbau im Bremskraftverstärkerbetrieb (u. a. Rekuperationsregelung, genauer Druckabbau im Bremskraftverstärkerbetrieb z. B. bei Fahrerassistenz) eingesetzt werden, insbesondere wenn die Druckerzeugereinheit nur Druck aufbauen kann (Doppelhubkolbendruckerzeugereinheit).

[0032] In einem zweiten Bestandteil bzw. Modus der „Druckabbauregelung im offenen Bremskreis“ entnimmt der Kolben zusätzlich Volumen aus dem Bremskreis, wodurch eine Druckdifferenz zwischen Hydraulikkolben p_{DK} und Verbraucher p_{V1} und Rücklaufdruck zum Verbraucher entsteht. In diesem Fall sind ebenfalls sowohl Einlass- und Auslassventil (e) geöffnet. Das Volumen fließt damit über die Auslassventil(e) in den Vorratsbehälter und zusätzlich über Einlassventil in den Hydraulikraum des Kolbens. Dadurch kann ein sehr hoher Druckabbaugradient erreicht werden. Durch das Öffnen von zwei Ventilen kann der effektive Querschnitt (Volumenfluss) von zwei Ventilen bei Druckabbau genutzt werden. Damit kann ein schnellerer Druckabbau realisiert werden bzw. das Regelverfahren zur Kostenoptimierung von Ventilen (kleinerer Querschnitt führt zur Kostenreduzierung).

[0033] Für das Regelverfahren ist ein Einlassventil zu jedem Verbraucher, jedoch nicht ein Auslassventil für jeden Verbraucher erforderlich. Insbesondere bei ABS-Systemen sind acht Ventile (vier Auslassventile AV, vier Einlassventile EV) als Standardlösung bekannt, diese können auf bis zu fünf oder sechs Ventile reduziert werden (vier EV, ein bis zwei AV).

[0034] Acht Ventile sind sinnvoll, um Standardsoftwarelösungen einzusetzen bei der Druckregelung. Die Druckregelung kann durch Einsatz des zwei-

ten Verfahrens verbessert werden, insbesondere bei Komfortregelfunktionen (z. B. Fahrerassistenz, rekuperatives Bremsen), wo eine genaue Regelung der Druckabbaugradienten von hoher Bedeutung ist. Dies kann durch die Kolbendruckregelung kostengünstiger realisiert werden als durch eine PWM-Steuerung der Ventile, welche für eine hohe Genauigkeit zusätzlich Druckgeber an den Verbrauchern erfordern würden.

[0035] Mit weniger Ventilen können die funktionalen Vorteile ebenfalls realisiert werden. So können zwei Auslassventile beispielhaft durch ein Auslassventil je Bremskreis bzw. ein zentrales Auslassventil ersetzt werden, da die Druckerzeugereinheit aufgrund ihrer Leistungsfähigkeit auch kleine Druckgradienten bei Ventilen mit größeren Öffnungsquerschnitten realisieren kann. Dies ist mit klassischer PWM-Steuerung schwer realisierbar, da Ventile mit hoher Schaltdynamik erforderlich wären.

[0036] Der zweite Verfahrensmodus der „Druckabbauregelung im offenen Bremskreis“ ermöglicht eine weitere Optimierungsmöglichkeit bei der Ventildimensionierung, da mehrere Ventile für die Funktionserfüllung genutzt werden und damit die Ventile kleiner dimensioniert werden können.

[0037] In einem dritten Bestandteil bzw. Modus der „Druckabbauregelung im offenen Bremskreis“ können die Ventile zum Vorratsbehälter als Einlass/Auslassventile (unterschiedlicher Öffnungsquerschnitt und Druckfestigkeit je Richtung) ausgeführt werden. Vorzugsweise haben diese einen kleinen Durchflussquerschnitt bei Druckabbau und großen Querschnitt beim Nachfördern von, Volumen aus dem Vorratsbehälter. In einer derartigen Ausführung kann Volumen im Druckabbaubetrieb in den Vorratsbehälter abgelassen werden, jedoch auch nachgefördert werden (z. B. im Fadingfall). In diesem Fall werden die Einlassventile zu den Verbrauchern geschlossen, der Druck gehalten und der Kolben zurückgefahren, um aus dem Vorratsbehälter wieder Volumen aufzunehmen. Hierzu wird ein kleiner Unterdruck über den Kolben erzeugt. Die Druckregelungsunterbrechung für das Nachfördern ist vor allem bei hohen Drücken unkritisch, da dies vom Fahrer nicht bemerkt wird. Wird ergänzt zum beschriebenen Regelverfahren die Multiplexregelung der Anmelderin (EP 1 874602 B1) eingesetzt für Drucksteuerung im Regelbetrieb bei geringen Dynamikanforderungen, kann der Volumenhaushalt weiter verbessert werden bzw. ein Betrieb bei geschlossenem Bremskreis vorteilhaft bei allen Komfortfunktionen eingesetzt werden (ACC, Rekuperation/achsweises Blending).

[0038] Eine besonders einfache und vorteilhafte Vorrichtung mit sehr kurzer Baulänge, insbesondere dem zentralen Hydraulikkern eines neuartigen Bremsanlage, in dem das neuartige Regelverfahren

einsetzt werden können, ist in **Fig. 7** dargestellt. Mit nur vier Einlassventilen (EV1–EV4) und einem zentralen Auslassventil E/A kann ein Hydrauliksystem, insbesondere Bremsystem betrieben werden. Dieses Hydrauliksystem ist kombiniert mit Hauptbremszylinder mit einem Schwimmkolben, der über die Fördereinheit auf der Rückseite mit Druck versorgt wird und gleichzeitig mit einer mechanischen Kraft (z. B. Pedalkraft) beaufschlagt werden kann. Dieser Hauptbremszylinder ist damit i. V. zum Stand der Technik (DE 10 2011 085 273) signifikant vereinfacht und in der Baulänge verkürzt. Insbesondere die Baulänge hat bei Bremsanlagen eine sehr hohe Bedeutung aufgrund Crash-Anforderungen.

[0039] Diese Vorrichtung bietet alle Freiheitsgrade einer Regelung sowohl im offenen als auch geschlossenen Bremskreis mit genauer Druckregelung. Ferner können unterschiedliche Fördereinheiten in einem Modularbaukasten eingesetzt werden (Pumpe, Doppelhubkolben und Einfachhubkolben).

[0040] Bei Einsatz eines Doppelhubkolbens bzw. mit kontinuierlicher Förderung ohne Druckabbaumöglichkeit bzw. Pumpe erfolgt die Druckabbauregelung im offenen Bremskreis über das E/A-Ventil. Das E/A-Ventil kann in diesem Fall auch als Auslassventil ausgeführt werden, bzw. es können Auslassventile parallel geschaltet werden.

[0041] Bei Einsatz eines Einfachhubkolbens bzw. Doppelhubkolbens mit Druckauf- und Druckabbaumöglichkeit in der Fördereinheit, wird das Hydrauliksystem sowohl im „Multiplexbetrieb“ als auch mit der „Druckabbauregelung im offenen Bremskreis“ betrieben und ermöglicht alle Freiheitsgrade einer präzisen Druckregelung sowie gleichzeitig simultanem Druckauf- und Druckabbau. So kann beispielweise der Druck in einen oder mehreren Verbrauchern in HK1 über die Fördereinheit aufgebaut werden und der Druck in Verbraucher im Kreis HK2 über E/A und aufgebaut werden. Das E/A wird ebenfalls für die Druckabbauregelung sowie zusätzlich für Nachfördern aus dem Vorratsbehälter verwendet.

[0042] Zusätzliche Vorteile ergeben sich, wenn eine kontinuierliche Druckfördereinheit (Doppelhubkolben) mit schaltbarer Querschnittsfläche eingesetzt wird. Dadurch kann kontinuierlich ohne Unterbrechung Volumen gefördert bzw. Druck aufgebaut werden. Der Einsatz eines Doppelhubkolbens mit schaltbarem Ventil ermöglicht ein Motordownsizing. So kann ein kostengünstiger Motor mit kleinerem Drehmoment eingesetzt werden. Durch Betrieb im Vor- und Rückhub ist der Volumenhaushalt quasi unerschöpflich, wobei das Fördervolumen für einen Vorhub bzw. Rückhub im Vergleich zum Kolben deutlich reduziert werden kann. Das führt zu deutlichen Bauraumvorteilen. Zudem können durch den Einsatz des Doppelhubkolbens kleine Leckflüsse im Betrieb

kompensiert werden und die Verfügbarkeit des Systems durch kontinuierliches Fördern gesteigert werden. Dies kann eine hohe Bedeutung für die Zuverlässigkeit und Fehlersicherheit des Systems haben.

[0043] Der Doppelhubkolben ist vorzugsweise aus Kostengründen als Einheit auszuführen, in dem nur Druck aufgebaut wird. Denkbar sind aber auch Ausführungsformen, in dem der Doppelhubkolben ebenfalls Druck abbauen kann. Ausführungsformen des Doppelhubkolbens sind nachfolgend erläutert.

[0044] Diese Freiheitsgrade des neuartigen Regelverfahrens können in vielfältiger Weise zur Funktionsverbesserung und Kostenreduzierung eingesetzt werden, unter anderem:

- Einsatz von kostengünstigen Motoren mit geringem Drehmoment und geringerer Anforderung
- Reduzierung der Anforderungen an Ventil (z. B. Einsatz von kostengünstigeren Ventilen mit kleiner Querschnittsfläche)
- Reduzierung der Anzahl der Ventile
- Verbesserung der Druckregelgüte durch dynamische und genaue Drucksteuerung), somit Verbesserung des Bremsweges durch Annäherung an die optimale Schlupfkurve
- Vereinfachung der gesamten Vorrichtung durch Nutzung von einem Auslassventil für mehrere Verbraucher und insbesondere mehrere Hydraulikkreis (**Fig. 7**)
- Erhöhung der Druckabbaudynamik durch Nutzung von 2 Ventilen (gleichzeitiger Druckabbau aus dem Verbraucher über EV und Kolben, Druckabbau über AV)
- sehr einfache Skalierbarkeit des Konzeptes durch kontinuierliche Förderung mit hoher Förderate

[0045] Die „Druckabbauregelung im offenen Bremskreis“ hat bei Einsatz eine Druckversorgung mit kontinuierlichem Fördern einen weiteren Vorteil. Ungeordnete Leckagen in den Bremskreisen können durch dieses Regelverfahren zumindest für eine Übergangszeit, bis das Reservoir leergesaugt ist, über dieses Regelverfahren ausgeglichen werden. Das Bremsregelsystem kann damit immer noch den gewünschten Solldruck in den Bremskreisen einstellen. Voraussetzung hierfür ist, dass die Leckage und der dadurch entstehende Volumenabfluss nicht größer ist als die Förderleistung der Druckerzeugereinheit.

Figurenbeschreibung

[0046] Weitere vorteilhafte Ausführungen bzw. Ausgestaltungen und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Patentansprüchen auf die hier Bezug genommen wird und aus den Zeichnungen und der diesbezüglichen nachfolgenden Figurenbeschreibung.

[0047] Es zeigen:

[0048] Fig. 1-1 den Grundaufbau eines hydraulischen Systems mit Druckregleinheit mit Druckauf- und Druckabbaufähigkeit (Einfachhubkolben, Doppelhubkolben mit kontinuierlicher Förderung);

[0049] Fig. 1-2 den Grundaufbau eines hydraulischen Systems mit Druckregleinheit mit Druckaufbau und kontinuierlicher Förderung (Pumpe, Doppelhubkolben);

[0050] Fig. 1a eine Darstellung der Druckregelung bzw. Drucksteuerung über Vorsteuerung der Druckvolumenkennlinie mit/ohne Öffnen der Auslassventile;

[0051] Fig. 1b eine Darstellung der Freiheitsgrade der Druckabbauregelung im offenen Bremskreis beim zeitlichen Ablauf des Druckabbaus;

[0052] Fig. 1c: eine Darstellung des zeitlichen Ablaufes der der Druckabbauregelung im offenen Bremskreis mit Umschalten zwischen einem und mehreren Ventilen;

[0053] Fig. 1d: ein Reglerblockschaltbild für die Druckregelung;

[0054] Fig. 1e: ein beispielhaftes Motorkennfeld als Vorsteuerung für Druckregelung;

[0055] Fig. 2a einen Aufbau eines Hydrauliksystems mit Einfachhubkolben, zwei hydraulischen Verbrauchern und zugehörige Steuerung im geschlossenen Bremskreis;

[0056] Fig. 2b einen Aufbau eines Hydrauliksystems mit Einfachhubkolben, zwei hydraulischen Verbrauchern mit Einlass- und Auslassventilen (ein bis zwei AV und zwei EV) und zugehörige „Druckabbauregelung im offenen Bremskreis“ mit offenem Bremskreis (ABS);

[0057] Fig. 2c den Aufbau eines Hydrauliksystems mit Einfachhubkolben, zwei hydraulischen Verbrauchern mit Einlass- und Auslassventilen (ein bis 2 AV und zwei EV) und zugehörige Steuerung im Regelbetrieb offenen Bremskreis (ABS) und Simultanregelung von zwei Verbrauchern;

[0058] Fig. 2d ein beispielhaften zeitlichen Ablauf der Regelung der in Fig. 2a–Fig. 2c beschriebenen Regeloptionen;

[0059] Fig. 2e den Aufbau eines Hydrauliksystems mit Einfachhubkolben, zwei hydraulischen Verbrauchern mit je zwei Ventilen (E/A-Ventil und zwei EV) und zugehörige Steuerung im offenen Bremskreis (ABS);

[0060] Fig. 3a eine Doppelhubkolbendruckerzeugereinheit mit kontinuierlicher Förderung mit schaltbarem Ventil und Druckaufbaumöglichkeit;

[0061] Fig. 3b eine Doppelhubkolbendruckerzeugereinheit mit kontinuierlicher Förderung, schaltbarem Ventil und Druckauf- und Druckabbaumöglichkeit;

[0062] Fig. 3c eine Doppelhubkolbendruckerzeugereinheit mit kontinuierlicher Förderung, schaltbarem Ventile und Druckversorgung von 2 hydraulischen Kreisen

[0063] Fig. 3d die Darstellung der Druckregelung über Wegsteuerung der Doppelhubkolbendruckerzeugereinheit (Druckvolumenkennlinie);

[0064] Fig. 3e Förderraten für Doppelhubkolben mit schaltbarer Fläche im Vergleich zum Volumenfluss von Einlass- und Auslassventilen;

[0065] Fig. 4a den Aufbau eines Hydrauliksystems mit Doppelhubkolben, zwei hydraulischen Verbrauchern mit je zwei Ventilen (AV und EV) und zugehörige Steuerung im Druckabbau (Steuerung Druckabbaugradient über 2-stufige Druckvolumenkennlinie);

[0066] Fig. 4b den Aufbau eines Hydrauliksystems mit Doppelhubkolben, zwei hydraulischen Verbrauchern mit je zwei Ventilen (AV und EV) und zugehörige Steuerung im Druckabbau (gleichzeitiger Druckauf- und Druckabbau in einem oder zwei Verbrauchern);

[0067] Fig. 4c den Aufbau eines Hydrauliksystems mit Doppelhubkolben, zwei hydraulischen Verbrauchern mit je zwei Ventilen (AV und EV) und zugehörige Steuerung im simultanen Druckauf- und Druckabbau in zwei Verbrauchern);

[0068] Fig. 5 den Aufbau eines Hydrauliksystems mit Doppelhubkolben oder Pumpe, zwei hydraulischen Verbrauchern mit zwei Einlassventilen, einem Auslassventil für einen Verbraucher und ein zentrales Auslassventil) und zugehörige Druckabbauregelung in einem Verbraucher);

[0069] Fig. 6a den Aufbau eines Hydrauliksystems mit zwei hydraulischen Kreisen mit Doppelhubkolben oder Pumpe, je zwei hydraulischen Verbrauchern mit zwei Einlassventilen, einem Auslassventil/Hydraulikkreis mit zentralen Auslassventil und zugehörige Druckabbauregelung in zwei Verbrauchern);

[0070] Fig. 6b den Aufbau eines Hydrauliksystems mit zwei hydraulischen Kreisen mit Doppelhubkolben oder Pumpe, je zwei hydraulischen Verbrauchern mit zwei Einlassventilen, einem Auslassventil/Hydraulikkreis mit zentralen Auslassventil und zu-

gehörige Druckaufbauregelung in zwei Verbrauchern und simultaner Druckabbauregelung in zwei weiteren Verbrauchern);

[0071] Fig. 7 einen Vorrichtung eines Hydrauliksystems, insbesondere Bremssystems mit zwei Hydraulikkreisen und einer mechanischen Betätigung.

[0072] Fig. 1-1 zeigt den Grundaufbau der ersten Ausführung des hydraulischen Systems. Die Druckregelereinheit ist an einen Verbraucher V1 angeschlossen. Ein Kolben **1** einer Zylinder-Kolben-Einheit, angetrieben über einen Elektromotor M und ein Getriebe G wirkt auf einen Hydraulikraum **2**, der über eine Hydraulikleitung **2a**, ein Einlassventil EV mit dem hydraulischen Verbraucher V1, insbesondere einem Bremssystem verbunden ist. Der Verbraucher V1 ist über eine Hydraulikleitung **2b** und ein Auslassventil AV mit einem drucklosen Vorratsbehälter **3** verbunden. Zwischen Hydraulikraum bzw. Druckraum **2** und EV ist ein Druckgeber **5** vorgesehen. Der Hydraulikraum **2** ist über ein Trennventil TV mit dem Vorratsbehälter **3** verbunden, das vorzugsweise eine Verbindung herstellt, wenn der Kolben **1** in der Ausgangsstellung x_0 ist. Der Motor M hat einen Drehwinkelgeber **4** und leitet das Drehmoment aus der Phasenstrommessung ab, welche hier in einer Ausführungsform über einen Strommesshant **6** ausgeführt ist. Aus dem Phasenstrom kann über das Drehmoment des Motors der Druck berechnet werden.

[0073] Fig. 1-2 zeigt den Grundaufbau einer zweiten Ausführung des hydraulischen Systems. Die Druckversorgereinheit ist eine über einen Elektromotor M angetriebene Pumpe P oder alternativ einem hier nicht dargestellten Doppelhubkolben mit kontinuierlicher Förderung. Die Druckversorgereinheit ist mit dem Verbraucher V1 über eine Hydraulikleitung **2a** verbunden. Ein Druckgeber **5** misst den Druck am Ausgang der Pumpe. Optional ist ein Einlassventil EV dem Verbraucher vorgeschaltet. Der Verbraucher ist über ein Auslassventil AV mit dem Rücklauf **2b** und somit dem Vorratsbehälter **3** verbunden. Über ein Trennventil TV steht die Pumpe ebenfalls in Verbindung mit dem Vorratsbehälter **3**. Diese Druckerzeugereinheit kann kontinuierlich Volumen fördern bzw. Druck aufbauen, jedoch im Gegensatz zu Fig. 1-1 keinen Druck abbauen.

[0074] Fig. 1a beschreibt anhand der Druckvolumenkennlinie die Druckauf- und Druckabbauregelung des Druckregelverfahrens unter Berücksichtigung eines optionalen Öffnens des Hydraulikkreises. Beim Druckaufbau wird das Einlassventil EV geöffnet und das Auslassventil AV geschlossen. Der Kolben **1** wird von der Ausgangsstellung x_0 bis zu x_1 nach vorne gefahren, nach Erreichen der Wegposition x_1 stellt sich im Verbraucher V1 der Druck p_1 ein. Der Druckabbau erfolgt über Rückfahren des Kolbens **1**, ausgehend von der Stellung x_1 zur Stellung x_2 . Bei Druck-

abbau mit geöffnetem Auslassventil AV verschiebt sich die Druckvolumenkennlinie infolge Volumenverlust um den Offsetweg dX_{Offset} . Da sich die Kennlinie nicht ändert, kann durch Druckmessung die Verschiebung der Kennlinie ermittelt werden. Bei einem nachfolgenden Druckabbau bei geschlossenem Auslassventil AV kann der Druck entsprechend abgebaut werden.

[0075] Fig. 1b beschreibt die Druckregelung im offenen Bremskreis mit geöffnetem Auslassventil AV. Ausgangszustand ist ein Druck p_1 im Verbraucher V1 (p_{V1}) und p_{Dk} im Druckraum **2** des Kolben **1**. Wird bei geschlossenem Einlassventil EV das Auslassventil AV geöffnet, kann der Druck entsprechend dem zeitlichen Verlauf (A) abgebaut werden. Dieses Verfahren wird von Standardregelsystemen genutzt. Ist eine Druckregelung erforderlich, wird über Zeitsteuerung der Ventilbetätigung der Druck entsprechend A1 abgebaut und zu einer bestimmten Zeit bei Erreichen des Solldruckes p_2 das Auslassventil AV geschlossen. Es folgen Druckschwingungen, bis sich der Druck auf das Druckniveau p_2 einstellt. Bei der neuartigen Druckregelung im offenen Bremskreis wird das Einlassventil EV und das Auslassventil AV geöffnet und Volumen nachgefördert über den Kolben **1**. Damit kann der gewünschte optimale zeitliche Verlauf (D) realisiert werden und Druckschwingungen verhindert werden.

[0076] Ein weiterer Freiheitsgrad ist die Regelung mit einem konstanten Druckabbaugradienten (B1). Dies wird dadurch erreicht, indem über Druckregelung die Verstellgeschwindigkeit des Kolbens geregelt wird. Dabei wird sinnvollerweise der Regler über ein Drehzahlkennfeld vorgesteuert. Der nichtlineare Druckabbaugradient des Auslassventils wird dadurch linearisiert. Möglich sind ebenfalls ein Konstant halten des Druckes (C) sowie ein konstanter Druckanstieg. Druck konstant halten ist sinnvoll bei Diagnoseverfahren von Ventilen und Kompensation von Leckagen im System, insbesondere im Bremskreis. Damit kann ein Bremskreisausfall durch Ventilleckage kompensiert werden. Ebenso kann der Druck auch bei offenem Auslassventil entsprechend der Leistungsfähigkeit des Motors erhöht werden.

[0077] Soll der Druckabbau schnell erfolgen, ergibt sich zusätzlich die Möglichkeit, das Einlassventil EV und das Auslassventil AV gleichzeitig zu öffnen und Kolben **1** zurückzufahren. Dadurch kann das Volumen im hydraulischen Verbraucher gleichzeitig über das Einlassventil EV und das Auslassventil AV abgebaut werden (E), d. h. der Druckabbaugradient kann erhöht werden. Dies ist als Optimierungsmöglichkeit sinnvoll, um Ventile mit kleinen Querschnitten einzusetzen. Diese sind in der Produktion kostengünstiger.

[0078] Fig. 1c zeigt den beispielhaften Ablauf einer Druckabbauregelung mit konstantem Gradienten

(psoll) mit Öffnen von zuerst einem, dann mehreren Auslassventilen. Ausgehend vom Zeitpunkt t_1 wird im ersten Schritt ein Auslassventil (AV) geöffnet, mit zeitlichem Druckabbauverlauf p_{ab1} . Die Druckregelung regelt den Druckabfall und stellt einen konstanten Druckgradienten ein. Zum Zeitpunkt t_2 ist der Druckgradient durch das Ventil limitiert. Um den Sollverlauf zu halten, muss ein weiteres Ventil geöffnet werden, z. B. ein Ventil mit größerem Öffnungsquerschnitt bzw. der Kolben **1** zurückgefahren werden. Der neue Druckabbauverlauf p_{ab2} stellt sich ein. Es kann weiter geregelt werden bis zum Zeitpunkt t_3 . Dort wird die Regelung abgeschaltet bzw. der Motor nicht weiter bewegt, der Druckverlauf nähert sich zum Schluss der Regelung harmonisch dem Enddruck p_0 an, was im Hinblick auf eine komfortable Bremsverzögerung gewünscht ist.

[0079] Fig. 1d zeigt ein Reglerblockschaltbild, welches für die oben beschriebenen Druckregelabläufe eingesetzt wird. Hierbei wird eine (nicht dargestellte) elektronische Steuer- bzw. Regeleinheit (ECU) verwendet, die bei allen Ausführungsformen der Erfindung vorgesehen ist. Aus dem Soll-Druck (Pref) wird über die Vorsteuerung einer Druck-Volumen-Kennlinie (M1) ein Volumenflussanteil (Q_{vor}) berechnet. Zudem kann über die Vorsteuerung des Volumenflusses über die Auslassventile (M3) auf Basis des gemessenen Ist-Druckes im System (p_{mess}) ein Vorsteueranteil QAV berechnet werden. Die Druckregelung (M2), welche vorzugsweise als PI- oder PID-Regler ausgeführt ist, berechnet die eigentliche Stellgröße. Es ist auch vorstellbar, dass die Reglerverstärkungen von (M2) über die Arbeitspunkte aus den Vorsteuerblöcken (M1) und (M3) verändert werden. Die Volumenflussanteile aus (M1), (M2) und (M3) ergeben summiert einen Sollwert für den Volumenfluss aus der Druckerzeugereinheit, welche dann als Eingangsgröße für die „Berechnungslogik für die Motorposition“ (M4) verwendet wird. (M4) berechnet mit Hilfe der weiteren Eingangsgröße (X_{mess}) „gemessene Kolbenposition“ und des Betriebszustandes der Bremse (Druckaufbau, Druckabbau, Bremskraftverstärker, ABS, ...) einen neuen Positionssollwert für den Kolben (X_{ref}) und die geeigneten Ventilschalt-signale. Mit Hilfe dieser Logik und den unterlagerten Modulen (M5) und (M6) ist es möglich, eine sehr präzise Druckregelung für Druckaufbau und Druckabbau zu realisieren. In jedem Fall wird der Druckkolben bzw. der positionsgeregelte Druckkolben als Stellglied für die Druckregelung verwendet. Die Ventile der Ventilstufe (M6) werden nur digital angesteuert.

[0080] Fig. 1e zeigt ein Kennfeld für eine Volumenflusssteuerung über den Motor mit konstanten Druckabbaugradienten in Abhängigkeit des Differenzdruckes zwischen p_{DK} , p_{V1} und p_0 . Die Druckgradienten sind durch die maximale Motordrehzahl n_{maxA2} beliebig regelbar. Durch Einsatz eines derartigen

Kennfeldes kann das Ansprechverhalten des Druckreglers verbessert werden. Das Kennfeld kann vorteilhaft zur Erhöhung der Genauigkeit um den Temperatureinfluss (Viskosität) erweitert werden.

[0081] Fig. 2a zeigt den Grundaufbau der Fig. 1 erweitert um einen weiteren hydraulischen Verbraucher V2. Die Verbraucher V1 und V2 sind über zwei Einlassventile EV1 und EV2 mit den vom Kolben **1** gebildeten Hydraulik- bzw. Druckraum **2** verbunden. Für die Druckabbausteuerung werden ein oder zwei Auslassventile AV1 und AV2 eingesetzt. In Fig. 2a ist die Druckregelung des Druckauf- und Druckabbaus im geschlossenen Hydraulikkreis ausgeführt. Im Regelmodus RM1 wird Druck im Verbraucher V1 geregelt, im Regelmodus RM2 der Druck im Verbraucher V2. Der Druck im Verbraucher kann gleichzeitig oder nacheinander (RM1 und RM2 gleichzeitig oder zeitversetzt) durch Regelung des Einfachhubkolbens im Vor- und Rückhub entsprechend der Druckvolumenkennlinie Fig. 1a auf- und abgebaut werden.

[0082] Fig. 2b zeigt den Grundaufbau der Fig. 2a mit einer Druckregelung im offenen Bremskreis im Verbraucher V1 (p_{V1}), während der Druck im Verbraucher V2 (p_{V2}) konstant gehalten wird. Im Regelmodus RM3 erfolgt der Druckaufbau über Wegsteuerung des Kolbens **1**, das Einlassventil EV1 und das Auslassventil AV1 sind geöffnet und die Ventile EV2 und AV2 geschlossen.

[0083] Fig. 2c zeigt den hydraulischen Aufbau der Fig. 2a mit simultanen Druckaufbau an einem Verbraucher V1 und Druckauf- oder Druckabbau am Verbraucher V2. Die Druckregelung erfolgt in einem Verbraucher V2 im geschlossenen Bremskreis durch Vor- und Rückhub des Kolbens **1** (Steuerung über Druckvolumenkennlinie), während der Druck im Verbraucher V1 zeitgleich abgebaut wird. Dies ist über PWM-Steuerung bzw. Druckabbau entsprechend des harmonischen Verlaufes möglich. Beispielhaft ist dieses Verfahren in der Rekuperationsregelung sinnvoll, wenn ein Verbraucher (z. B. Hinterachse mit Generator) genau geregelt werden soll. Zudem kann durch Öffnen des Auslassventils ein Druckabbau beschleunigt werden, z. B. im Regelbetrieb (ABS) und im anderen Verbraucher gleichzeitig Druck aufgebaut werden. Dies ermöglicht eine kürzere Zykluszeit und somit eine bessere Gesamtregelung, insbesondere bei Bremsverzögerungen auf hohen Reibwerten.

[0084] Fig. 2d zeigt den zeitlichen Verlauf der verschiedenen Reglermodi, die in Fig. 2a bis Fig. 2c dargestellt sind. Bis zur Zeit t_1 wird das Hydrauliksystem in Reglermode RM1 und RM2 betrieben. Der Kolben fährt vor und steuert entsprechend der Volumenkennlinie den Druck in beiden Verbrauchern P_{V1} und P_{V2} .

[0085] Zum Zeitpunkt t1 wird das Einlassventil EV1 des Verbrauchers V1 geschlossen und der Druck des Verbraucher V2 wird bis zur Zeit t2 weiter aufgebaut.

[0086] Zum Zeitpunkt t2 wird das EV2 des Verbrauchers V2 geschlossen, der Druck im Verbraucher pV2 wird damit konstant gehalten. Das Auslassventil AV1 des Verbrauchers V1 geöffnet. Der Kolben wird im Reglermode RM3 bei geöffneten Einlassventil EV2 druckgeregelt weiter verfahren, um den Druck im Verbraucher pV1 mit einem konstanten Druckgradienten abzubauen.

[0087] Zum Zeitpunkt t3 wird das Auslassventil des Verbrauchers V1 geöffnet und das Einlassventil geschlossen (RM4). Der Druck wird bis zum Zeitpunkt t5 harmonisch abgebaut. Der Druckabbaugradient wird durch den Ventilquerschnitt und die Druckdifferenz bestimmt.

[0088] Bis zum Zeitpunkt t4 wird der Druck im Verbraucher gehalten, dann wird der Druck durch druckgeregelt zurückfahren des Kolbens mit einem konstanten Druckgradienten abgebaut. Der Ausgangsdruck wird bei t6 erreicht.

[0089] Nach Ablauf des Regelvorgangs wird der Kolben zurückgefahren zur Ausgangsstellung und das Volumen in der Druckkammer wird wieder gefüllt.

[0090] Dieser beispielhafte Verlauf zeigt die Freiheitsgrade und Möglichkeiten der erfindungsgemäßen neuen Regelung in einer einfachen Druckregelung im Verstärkerbetrieb. Diese Freiheitsgrade können im Regelbetrieb für eine ideale schnelle und genaue Druckregelung genutzt werden.

[0091] Fig. 2e zeigt einen alternativen Aufbau des Hydraulikkreises mit den Verbrauchern V1 und V2 zugeordneten Einlassventilen EV1 bzw. EV2 und einem vorgelagerten zentralem Einlass/Auslass-Ventil E/A mit der gleichen Funktionalität wie in Fig. 2d und Fig. 2e beschrieben. In diesem Hydraulikkreis werden die Drücke pV1 und pV2 vorwiegend im Multiplexbetrieb im geschlossenen Bremskreis geregelt. Sofern der Druckabbaugradient durch Rückfahren des Kolbens 1 nicht ausreichend ist (z. B. Limitierung der Drehzahl/Leistung des Motors), wird zusätzlich ein E/A-Ventil geöffnet, um einen schnellen Druckabbau zu erzielen. Das Volumen kann über das Ventil E/A wieder zurückgefördert werden aus dem Vorratsbehälter 3. Dazu muss der Kolben 1 zurückgefahren werden. Der Bremskreis wird zum Vorratsbehälter 3 vorzugsweise nur im Regelbetrieb geöffnet.

[0092] Fig. 3a zeigt in drei verschiedenen Wirkungsphasen (Vorhub mit Wirkfläche A1, Vorhub mit Wirkfläche A1–A2 und Rückhub mit Wirkfläche A2) den Grundaufbau einer Druckregel- und Volumenfördererheit (nachfolgend auch Druckregelheit) beste-

hend aus einem beidseitig wirkenden Kolben 20 (nachfolgend auch Doppelhubkolben (DHK), der über eine Druckstange 22 in beide Richtungen über einen Weg sk verschoben werden kann. Der Doppelhubkolben 20 begrenzt eine erste Druckkammer 23a mit der Wirkfläche A1 und eine zweite Druckkammer 23b mit der Wirkfläche A2. Das Verhältnis der Querschnitte der Flächen A1 und A2 ist näherungsweise 2:1, mindestens 1,5:1 und maximal 2,5:1. Dieses Verhältnis entspricht näherungsweise dem Verhältnis zwischen Maximaldruck und typischem Arbeitsdruck. Beide Kammern 23a, 23b sind über Rückschlagventile 24a und 24b mit einem Vorratsbehälter 25 und über weitere Rückschlagventile 26a, 26b mit einem Verbraucherkreis HK1, insbesondere Bremskreis verbunden. Die Rückschlagventile 24a, 24b bzw. 26a, 26b weisen zweckmäßig einen großen Öffnungsquerschnitt auf, damit Drosselwirkungen vermieden werden. Zusätzlich ist zwischen den Kammern 23a, 23b über eine hydraulische Verbindungsleitung 27 ein schaltbares Druckausgleichsventil SV angeordnet. Die Verbindungsleitung 27 mündet (vom Doppelhubkolben aus gesehen) hinter dem Ventil 26a und vor dem Ventil 26b in die zu den Druckkammern 23a bzw. 23b hydraulischen Leitungen. Das schaltbare Ventil SV ist als Schaltventil, nicht Drosselventil ausgeführt und weist einen großen Durchflussquerschnitt auf. Zudem werden Vorder- und Rückseite des Doppelhubkolbens über kurze hydraulische Leitungen mit geringem Strömungswiderstand direkt verbunden. Der die Druckkammern bzw. die von diesen zum Verbraucher führenden hydraulischen Leitungen verbindende, das Schaltventil AV enthaltende Leitungsabschnitt ist möglichst kurz und beginnt zumindest an einer Druckkammer möglichst unmittelbar am Ausgang der Kolben-Zylinder-Einheit. Insbesondere sollen den Strömungswiderstand erhöhende Elemente, wie zusätzliche Ventile etc., in diesem Bereich möglichst vermieden werden. Alternativ können statt einem Schaltventil SV auch mehrere Schaltventile parallel geschaltet werden. Durch Parallelschaltung können Standardventile aus der Großserienfertigung eingesetzt werden. Durch Schalten des Druckausgleichsventils AV kann eine Verbindung zwischen Vorder- und Rückseite des Doppelhubkolbens 20 hergestellt und im Vorhub unterschiedliche Wirkflächen durch Druckausgleich realisiert werden.

[0093] Die Druckregelheit hat Abgänge an einen Verbraucher über die Rückschlagventile 26a und 26b, die einen großen Querschnitt aufweisen und beim Druckaufbau ohne elektrische Betätigung schnell geöffnet werden können. Das SV-Ventil ist somit nur beim Umschalten zwischen Vor- und Rückhub bzw. Umschalten der Querschnittsflächen belastet. Beispielsweise in der Anwendung der Druckregelheit in einem Bremssystem (36 ccm Volumen) ist bei einem Umschalten bis 100 bar typischerweise ein Querschnitt des AV-Ventils von ca. 5 mm² erforderlich. Typische schnellschaltende Kugelsitzventile ha-

ben einen Querschnitt von 0,8–1,4 mm². Müsste der Druckausgleich über zwei Ventile geführt werden (gemäß Stand der Technik DE 2011 0803212), wäre bei einer Reihenschaltung der Ventile eine mindestens 4-fache Querschnittsfläche der Ventile erforderlich. Berücksichtigt man dann zudem, dass vier Leitungen die Ventile verbinden mit entsprechend zu berücksichtigenden Strömungs- und Ventilanschlusswiderständen, ist eine weitere Erhöhung der Querschnittsfläche erforderlich und ein schnelles Umschalten bei höheren Drücken technisch nicht umsetzbar. Ein schnelles Schalten derartiger großer Ventile ist technisch sehr schwer umsetzbar und sehr teuer und für den Normalbetrieb ohne Umschalten hinderlich. Derartige große Ventile schalten sehr langsam und müssen bei jedem Druck/Fördervorgang aktiviert werden, sind daher bei jeder Druck/Volumenänderung belastet und somit in Anbetracht der Vielzahl der Betätigungen nicht fail-safe. Ein Ausfall eines Ventils führt zum Wegfall der Umschaltfunktion, was zu einem Ausfall des Gesamtsystems führen kann, da nicht mehr ausreichend Volumen für den Druckaufbau erforderlich ist bzw. die Förderung abgebrochen werden muss. Technisch ist somit entscheidend, dass das AV-Ventil zwischen den Kammern **23a** und **23b** angeordnet ist und der Volumenstrom zwischen den Kammern nur von Kammer **23a** zu Kammer **23b** erfolgen kann, so dass zum Verbraucher nur über Rückschlagventile gefördert wird. Zudem ist das AV-Ventil bei jedem Vorhub diagnostizierbar und Leckagen können frühzeitig erkannt werden. Im Abgang ist ferner ein Druckgeber **28** angeordnet. Die Druckregelung wird über einen (in der Figur nur prinzipiell dargestellten) Motor-Spindel-Antrieb angetrieben. Der Motor-Spindeltrieb kann zweckmäßig einen Kugelgewindetrieb und einen über zwei Lager und gelagerten Motorrotor aufweisen, der mit Permanentmagneten bestückt ist. Die Rotordrehzahl und Winkelposition wird über einen Geber ermittelt. Der Motor besitzt zudem zweckmäßig einen Stator mit Erregerpolen und ist in einem Gehäuse untergebracht. Zwischen Druckkammer **23a** und **23b** sind Dichtungen am Doppelhubkolben und zwischen Kammer **23b** mit Wirkfläche A₂ und Druckstangenkolben angebracht.

[0094] Der Doppelhubkolben **20** kann im Vor- und Rückhub betrieben werden. Im Vorhub wird bei geschlossenem Ventil SV die Fläche A₁, bei geöffnetem Ventil SV die Fläche A₂–A₁ wirksam, da ein Druckausgleich zwischen den beiden Kammern erfolgen kann. Im Rückhub ist das Ventil SV geschlossen und es wirkt die Fläche A₂.

[0095] Zweckmäßigerweise ist das Verhältnis zwischen Fläche A₁ und A₂ näherungsweise Faktor 2, damit im Vor- und Rückhub mit der gleichen kleineren Fläche A₂ geregelt werden kann und bei Umschalten keine Ausgleichsvolumenflüsse und Druckabfälle wirken.

[0096] Fig. 3b zeigt eine Erweiterung des Doppelhubkolbens gemäß Fig. 3a um 2 weitere Ventile PD1 und PD2, welche die Rückschlagventile ersetzen. Diese Anordnung hat den Vorteil, dass neben der kontinuierlichen Förderung und Druckaufbau der Druck kontrolliert vergleichbar mit dem Einfachhubkolben durch Rückfahren des Kolbens **22** abgebaut werden kann. Das Hydraulikum fließt über PD1 in die vordere Kammer **23a** und über PD2 aus der hinteren Kammer des Doppelhubkolbens **23b** über PD2 in den Vorratsbehälter **25**. Damit erhöhen sich die Freiheitsgrade. Diese Ausführung ermöglicht wie der Einfachhubkolben die vollen Freiheitsgrade der kombinierten Regelung (a) Multiplexregelung im geschlossenen Bremskreis (b) Druckabbauregelung im offenen Bremskreis im Regelbetrieb über Öffnen von Auslassventilen zum Vorratsbehälter, bietet jedoch zusätzlich eine kontinuierliche Förderung/Druckaufbau.

[0097] Fig. 3c beschreibt eine weitere Ausführungsform des Doppelhubkolbens mit direktem Anschluss an zwei Hydraulikkreise. Im Vorhub wird Volumen in den einen Kreis, beim Rückhub in den zweiten Kreis gefördert. Der Aufbau der Doppelhubkolbeneinheit ist weitestgehend gleich wie Fig. 3a, nur dass die Förderkammer über ein Rückschlagventil **26b** die Einheit von dem zweiten Hydraulikkreis abtrennt. Diese Doppelhubkammer kann sowohl im Vor- als auch im Rückhub beide Hydraulikkreise versorgen. Dazu wird das Schaltventil SV geöffnet.

[0098] Fig. 3d beschreibt die Regelstrategie zur genauen Druckregelung über Abbildung einer Druck-Volumen(Weg)-Kennlinie in einem Zusammenhang zwischen Druckstangenweg x_k und Druck p . Zur Abbildung der Druckvolumenkennlinie wird ein Drucksensor **5** der Fig. 1a, Fig. 1b, Fig. 1c, Fig. 2 genutzt. Im Betrieb kann die Druckvolumenkennlinie abgeglichen werden.

[0099] Ein Verhältnis der Kammerflächen des Doppelhubkolbens **20** von $A_1/A_2 = 2$ ist in der Darstellung zugrunde gelegt. Der Druckaufbau beginnt von einem Ausgangsdruck x_{0A_1} . Ein gewünschter Regeldruck p_1 wird eingestellt durch Aussteuerung des Linearaktuators bis zur Position x_{p_1} . Bei der Regelung wird die Druck-Weg-Kennlinie zugrunde gelegt, die den nichtlinearen Zusammenhang zwischen Druck und Weg abbildet. Es können auch geringe Drücke als p_1 über die Druckwegkennlinie eingesteuert werden. Bei Umschalten auf die Wirkfläche A₂ verschiebt sich die Druckvolumenkennlinie. Es ergibt sich ein neuer Referenzweg x_{0A_2} . Druckänderungen können durch Einstellen von Differenzwegen Δx_{sk} eingestellt werden. Die weggesteuerte Druckregelstrategie hat den Vorteil, dass der Druck deutlich besser eingestellt werden kann, wenn die Regelung über Hub erfolgt und nicht über Nutzung des Drucksensors, da damit Druckschwingungen und Elastizitäten der Drucklei-

tung nicht als Störgrößen die Regelung beeinflussen und keine hohen Anforderungen an die Genauigkeit von Druckgebern gestellt werden müssen.

[0100] Wird die Druckregeleinheit gemäß **Fig. 1c** eingesetzt, kann über die Wegsteuerung x_k der Druck auch im Abbau über den Druck-Weg-Zusammenhang geregelt werden (gestrichelter Pfeil). Wird ein Doppelhubkolben mit Druckabbaumöglichkeit eingesetzt, kann der Druckabbau über die Druckvolumenkennlinie geregelt werden ($x_{p1} \rightarrow x_{p3}$, $p_1 \rightarrow p_3$). Wird zwischenzeitlich ein Auslassventil geöffnet, kommt es ähnlich wie in **Fig. 1a** beschrieben zu einer Verschiebung der Druckvolumenkennlinie (dX_{Offset}). Die Verschiebung muss nach dem Öffnen des Ventils wieder erfasst und der Offset bestimmt werden.

[0101] **Fig. 3e** beschreibt das Volumenflusskennfeld des Doppelhubkolbens mit unterschiedlichen wirksamen Hydraulikquerschnittflächen A_1 oder A_2 ($Q_{\text{motor}}(A_1)$ und $Q_{\text{motor}}(A_2)$) sowie die Volumenflüsse von typischen Auslassventilen und Einlassventilen. Durch Umschalten auf unterschiedliche Querschnittsflächen kann die Förderleistung auch bei hohen Differenzdrücken aufrecht erhalten werden, da die Förderleistung durch max. Drehmoment des Antriebs nicht beschränkt ist und bis zu hohen Differenzdrücken aufrecht erhalten werden kann. Damit ist auch bei hohen Differenzdrücken eine Druckabbauregelung im offenen Bremskreis möglich.

[0102] Die folgenden **Fig. 4a**, **Fig. 4b**, **Fig. 4c**, **Fig. 5**, **Fig. 6a** und **Fig. 6** beschreiben das Regelverfahren mit einer Druckfördereinheit, die keinen Druck abbauen kann, jedoch eine kontinuierliche Förderung gewährleistet, insbesondere das Teilmultiplexverfahren mit der Druckabbauregelung im offenen Bremskreis wird im Folgenden näher beschrieben.

[0103] **Fig. 4a** zeigt den Aufbau eines Hydrauliksystems mit Doppelhubkolben als Druckaufbau und Druckvolumenfördereinheit, zwei hydraulischen Verbrauchern V_1 und V_2 mit Einlass- und Auslassventilen (AV_1 , EV_1 , EV_2 und optional AV_2), einem Druckgeber in der Zuleitung zum Verbraucher und zugehörige Druckaufbauregelverfahren entsprechend der in **Fig. 3d** beschriebenen zweistufigen Druckvolumenkennlinie. Der Doppelhubkolben entspricht dem Aufbau gemäß **Fig. 3a** und kann im Vor- und Rückhub betrieben werden. Im Regelmodus RM_6 wird Druck im Verbraucher V_1 geregelt, im Regelmodus RM_7 der Druck im Verbraucher V_2 . Der Druck im Verbraucher kann gleichzeitig oder nacheinander (RM_6 und RM_7 gleichzeitig oder zeitversetzt) durch Regelung des Doppelhubkolbens im Vor- oder Rückhub entsprechend der Druckvolumenkennlinie **Fig. 3a** aufgebaut werden. Wird der Druck aufgebaut, ist das jeweilige Einlassventil EV_1 oder EV_2 des Verbrauchers geöffnet, Auslassventil(e) sind in diesem Betriebsmo-

us geschlossen. Je nach dem, ob das AV-Ventil geöffnet ist, gilt die DVK_{A_1} oder DVK_{A_2} (**Fig. 3d**).

[0104] **Fig. 4b** zeigt den gleichen Aufbau des hydraulischen Systems wie **Fig. 4a**. Hier ist die Druckabbauregelung im offenen Bremskreis für ein oder zwei Verbraucher V_1 , V_2 dargestellt. Für den Druckabbau wird der Doppelhubkolben druckgesteuert im Weg geregelt, EV_1 und AV_1 sind beim Druckabbau in Reglermodus RM_8 im V_1 beide offen. Im Reglermodus RM_9 wird der Druck im Verbraucher V_2 abgebaut über das gleiche Auslassventil AV_1 . Dazu sind alle Einlassventile EV_1 und EV_2 sowie das Auslassventil AV_1 geöffnet. Alternativ kann der Druckabbau über AV_2 erfolgen, sofern ein höherer Druckabbaugradient gewünscht ist.

[0105] **Fig. 4c** zeigt den gleichen Aufbau des hydraulischen Systems wie **Fig. 4a**. In der Figur sind zwei weitere Reglermodi dargestellt. Im Reglermode RM_{10} wird der Druck in einem Verbraucher V_2 durch Regelung der Druckvolumenkennlinie aufgebaut, während in einem zweiten Reglermode RM_{11} der Druck in einem zweiten Verbraucher V_1 abgebaut wird. Dies ist über PWM-Steuerung bzw. Druckabbau entsprechend des harmonischen Verlaufes möglich. Beispielhaft ist dieses Verfahren in der Rekupe- rationsregelung sinnvoll, wenn ein Verbraucher (z. B. Hinterachse mit Generator) genau geregelt werden soll. Zudem kann durch Öffnen des Auslassventils ein Druckabbau beschleunigt werden, z. B. im Regelbetrieb (ABS) und im anderen Verbraucher gleichzeitig Druck aufgebaut werden. Dies ermöglicht eine kürzere Zykluszeit und somit eine bessere Gesamtregelung, insbesondere bei Bremsverzögerungen auf hohen Reibwerten.

[0106] **Fig. 5** zeigt eine Variante zum hydraulischen Aufbau der **Fig. 4a–Fig. 4c**. Die Pumpe bzw. der Doppelhubkolben DHK ist über jeweils ein Einlassventil mit je einem Verbraucher V_1 bzw. V_2 verbunden. Zwei Verbraucher bilden den Hydraulikkreis HK_1 . Ein Verbraucher V_1 hat ein zusätzliches Auslassventil AV_1 , zudem sind die Verbraucher V_1 und V_2 mit über das Einlassventil mit einem Zentralventil ZAV verbunden. **Fig. 5** zeigt die Druckabbauregelung in Verbraucher V_2 analog zur Beschreibung in **Fig. 4b**. Beim Druckabbau im Reglermode RM_{12} wird über die Pumpe/DHK der Druck geregelt, EV_2 und ZAV sind beide geöffnet.

[0107] Der Vorteil dieser Anordnung wird in den folgenden **Fig. 6a** und **Fig. 6b** ersichtlich, da das zentrale Auslassventil für die Druckregelung von mehreren Hydraulikkreisen verwendet werden kann. Damit kann die Anzahl an Ventilen für das Gesamtsystem reduziert werden.

[0108] **Fig. 6a** zeigt in diesem Zusammenhang den Aufbau des hydraulischen Systems gemäß **Fig. 5** er-

weitert und einen zweiten Hydraulikkreis HK2 mit weiteren Verbrauchern V3, V4, Einlassventilen EV3 und EV4 und ein weiteres Auslassventil AV2. Im Reglermode RM13 wird der Druck in einem Verbraucher V4, im Reglermode RM14 im Verbraucher V2 abgebaut. Entsprechende Einlassventile EV2 und EV4 sind dazu geöffnet und die Pumpe bzw. der Doppelhubkolben DHK fördert druckgeregelt Volumen. Der Druckabbau kann zeitgleich oder zeitlich versetzt erfolgen. Zudem ist zur Bremskreistrengung für ein zweikreisiges Bremssystem optional ein Druckausgleichsventil (DAV) vorgesehen. Die Funktion des DAV ist in **Fig. 7** näher beschrieben.

[0109] **Fig. 6b** zeigt die simultane bzw. zeitlich versetzte Druckauf- und Druckabbauregelung im gleichen hydraulischen Aufbau wie **Fig. 6a**. In Reglermode RM15 und RM16 wird der Druck in den Verbrauchern V2 und V4 über die Druckvolumenkennlinie des DHK aufgebaut, EV2 und EV4 sind dabei geöffnet und ZAV geschlossen. Zeitgleich oder zeitlich versetzt kann der Druckabbau in Verbraucher V1 und/oder V2 erfolgen durch Öffnen der Auslassventile AV1 und AV2 (Reglermodus RM18 und RM19).

[0110] **Fig. 7** zeigt einen Hydraulikaufbau gemäß der **Fig. 2d** mit zwei hydraulischen Kreisen HK1 und HK2, insbesondere Bremskreisen sowie einer mechanischen Ankopplung an einen Stößel **9**, der von der Fußkraft eines Fahrers betätigbar ist und zum Beispiel in einem Bremssystem in der Rückfallebene genutzt wird. Den Verbrauchern der Kreise HK1, HK2 sind jeweils Einlassventile EV1, EV2 bzw. EV3, EV4 zugeordnet. Ferner ist HK1 mit einem E/A-Ventil oder A-Ventil mit dem Vorratsbehälter verbunden und HK1 mit HK2 über ein optionales Druckausgleichsventil DAV. Dies ist vorgesehen bei Druckquellen mit einkreisiger Druckversorgung ohne kontinuierliche Förderung (Var.2 mit einem Kreis, Var.3). Über das DAV-Ventil kann einen Druckausgleich zwischen den Bremskreisen HK1 und HK2 erstellt werden, wenn Volumen über das E/A bzw. abgelassen wurde bzw. über E/A-Ventil nachgefördert wird. Wird ein Doppelhubkolben mit Anschluss an zwei Hydraulikkreise (**Fig. 3c**) eingesetzt, kann der zweite Hydraulikkreis über eine hydraulische Leitung **2d** direkt verbunden werden. In diesem Fall kann das Trennventil DAV entfallen. Druck kann aus dem Hydraulikkreis HK2 über das in dieser Figur nicht dargestellt Schaltventil SV am Doppelhubkolben (siehe **Fig. 3a–Fig. 3c**) über das E/A (A)-Ventil abgebaut werden. Da der Doppelhubkolben kontinuierlich fördern kann, ist in diesem Fall ist keine Nachförderung aus dem Vorratsbehälter erforderlich. daher kann das E/A-Ventil durch ein Auslassventil (A-Ventil) ersetzt werden. Optional können auch mehrere Auslassventile mit unterschiedlich großen Querschnitten eingesetzt werden zum Einstellen unterschiedlicher Druckgradienten im Sinne eines gestuften Druckabbau, wie in **Fig. 1c** beschrieben. So können neben einem zentralen Auslassventil

in einen oder mehreren Verbrauchern des Hydraulikkreises HK1 und HK1 weitere Auslassventile vorgesehen werden (AV1 und AV2 in HK1 und HK2, wie in **Fig. 6a, Fig. 6b** beschrieben).

[0111] Die Hydraulikkreise HK1 und HK2 sind mit Druckräumen **21a, 21b** hydraulisch verbunden die vom Kolben, insbesondere Schwimmkolben (SK) **21** einer weiteren Zylinder-Kolben-Einheit gebildet werden. Diese Lösung ist sinnvoll zur Trennung der Bremskreise und somit Gewährleistung der Redundanz bei Ausfall eines Bremskreises. Bei dieser weiteren Zylinder-Kolben-Einheit kann es sich z. B. um einen Hauptzylinder eines Bremssystems handeln, der zusätzlich auch vom Bremspedal über den Stößel **9** beaufschlagt wird. Der Druckraum **2** der ersten Zylinder-Kolben-Einheit ist ferner über eine hydraulische Leitung **2c** mit dem Druckraum **21s** verbunden.

[0112] Als Fördereinheiten sind unterschiedliche Varianten 1–3 denkbar (Pumpe, DHK, oder Einfachhubkolben) die alternativ und ggf. auch ergänzend zur Anwendung kommen. Bei einer Betätigung der Fördereinrichtung wird im Druckraum **2** Druck aufgebaut, der über die Leitung **2c** dem Druckraum **21a** der zweiten Zylinder-Kolben-Einheit und somit über den Kolben **21** dem Druckraum **21b** übermittelt wird. Dadurch wird der Druck in den Druckräumen **21a, 21b** auf die entsprechenden Verbraucherkreise HK1, HK2 übertragen.

[0113] Für die Regelung/Abgleich der Druckvolumenkennlinie ist ein Druckgeber im Druckraum **21a** vorgesehen. Für eine Rückstellung des Schwimmkolbens ist eine Feder **21d** vorgesehen, ebenso ist eine Wegmessung **7** des Schwimmkolbens über ein Target **28** erhalten. Die Wegmessung ist hilfreich, da beim Öffnen des E/A1-Ventils Volumen verloren geht und über die Wegmessung der Volumenverlust und das Restvolumen in Druckraum **21b** ermittelt werden kann. Diese Anordnung hat den Vorteil, dass die erfindungsgemäße Regelung einfach auf einen zweiten Hydraulikkreis erweitert werden kann und zusätzliche Ventile für das Umschalten zwischen den Hydraulikkreisen nicht erforderlich sind. Das Trennventil TV ist daher optional.

[0114] Die **Fig. 7** illustriert u. a. auch, dass durch das neuartige Regelverfahren die Baugröße und Anzahl Komponenten eines hydraulischen Systems, insbesondere Bremssystem durch intelligente Steuerung maßgeblich reduziert werden kann.

[0115] Mit dem beschriebenen Aufbau der Erfindung und ihrer Ausgestaltungen bzw. Ausführungsformen können alle erfindungsgemäßen Reglerverfahren eingesetzt werden und kombiniert werden:

- Multiplexbetrieb
- Druckabbauregelung im offenen Bremskreis in HK1 und HK2 über Öffnen E/A-Ventil (optional TV)
- Genauer Druckaufbau in allen Verbrauchern über Druckvolumenkennlinie
- Genauer Simultaner Druckauf- und Druckabbau in HK1 und HK2 (Druckaufbau in HK2, Druckabbauregelung im offenen Bremskreis in HK1 über E/A Ventil)

[0116] Entsprechend der geforderten Funktion und der eingesetzten Fördereinheit können Ventile einspart werden (E/A und TV sind optional insbesondere bei der Möglichkeit des Druckabbaus über DHK oder Hubkolben).

Bezugszeichenliste

1	Kolben
2	Hydraulikraum bzw. Druckraum
2a	hydraulische Leitung zum Verbraucher
2b	hydraulische Leitung zum Vorratsbehälter
2c	hydraulische Leitung Druckerzeugereinheit zum Schwimmkolben
3	Vorratsbehälter
4	Drehwinkelgeber
5	Drucksensor
5a	Drucksensor über Strommessung
6	Strommesshant
7	Positionssensor
8	Wegmesstarget
9	Pedalstößel
20	Kolben bzw. Doppelhubkolben
21	Kolben bzw. Doppelhubkolben
21a	Druckraum
21b	Druckraum
22	Stößel
23a	Druckraum
23b	Druckraum
24a	Rückschlagventil
24b	Rückschlagventil
26a	Rückschlagventil
26b	Rückschlagventil
27	hydr. Leitung
30	hydr. Leitung
32	hydr. Leitung
A1	Hydraulische Querschnittsfläche des Doppelhubkolbens im Vorhub
A2	Hydraulische Querschnittsfläche des Doppelhubkolbens im Vor- und Rückhub bei geöffneten Verbindungsventil SV
dX_{Offset}	Verschiebung Druckvolumenkennlinie bei Volumenverlust
DHK	Doppelhubkolben
EV	schaltbares (Einlass) Ventil
AV	schaltbares (Auslass) Ventil
SV	Schaltventil Doppelhubkolben

DAV	Druckausgleichsventil
E/A	Einlass/Auslassventil
pDK	Druck in der Fördereinheit
V1...4	Verbraucher 1–4
P_{V1...4}	Druck im hydraulischen Verbraucher 1–4
N_{motor}	Motordrehzahl
G	Getriebe
M	Elektromotor
P	Pumpe mit variabler Förderleistung
Q	Volumenstrom
X	Position des Kolbens
RM1..RM18	Regelungsbetriebsmodus
SK	Schwimmkolben
TV	Trennventil
V1	Verbraucher bzw. Bremskreis/Radbremse
V2	Verbraucher bzw. Bremskreis/Radbremse

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

- EP 1874602 [0004]
- DE 102011085273 [0004, 0038]
- DE 102013210563 A1 [0007]
- EP 2014/069723 [0008]
- EP 1874602 B1 [0037]
- DE 20110803212 [0093]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Bremsenhandbuch (4. Auflage, Bert Breuer, Karlheinz Bill, Springer Vieweg) auf den Seiten 434ff. [0002]
- Abbildung 20.12 Bremsenhandbuch S. 434 [0003]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Druckregelung von hydraulischen Systemen, insbesondere Druckregelvorrichtung für eine elektromechanische Bremsanlage, mit einer von einem Motor angetriebenen Fördereinrichtung bzw. Fördereinheit, insbesondere Zylinder-Kolben-Einheit mit Druckaufbau und Druckabbauregelmöglichkeit, mit zumindest einem Druckraum (2), der über eine Hydraulikleitung (2a) und ein Einlassventil (EV) mit zumindest einem Verbraucher (V1, V2), insbesondere Bremszylinder verbunden ist und mit zumindest einem Auslassventil (AV) für den bzw. die Verbraucher (V1, V2) zur Verbindung des Verbrauchers (V1, V2) mit einem Vorratsbehälter, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fördereinrichtung, druckgeregelt als Stellglied für die Druckregelung verwendet wird.

2. Verfahren zur Druckregelung von hydraulischen Systemen, insbesondere Druckregelvorrichtung für eine elektromechanische Bremsanlage, mit einer von einem Motor angetriebenen Fördereinrichtung bzw. Fördereinheit, insbesondere einer Pumpe mit variabler Förderleistung mit zumindest einem Druckraum, der über eine Hydraulikleitung (2a) und optional ein Einlassventil (EV) mit zumindest einem Verbraucher (V1, V2), insbesondere Bremszylinder verbunden ist, und mit zumindest einem Auslassventil (AV) zur Verbindung des Verbrauchers (V1, V2) mit einem Vorratsbehälter, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fördereinrichtung, druckgeregelt als Stellglied für die Druckregelung verwendet wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Druckabbauregelung im offenen Bremskreis ein oder mehrere Auslassventile (AV) geöffnet werden und ein druckgeregeltetes Nachfahren des Kolbens mit Volumennachförderung erfolgt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druckabbau im Teilmultiplexverfahren erfolgt, wobei der Druckabbau in einem oder mehreren Verbrauchern, insbesondere über ein oder mehr Auslassventile, über eine Druckabbauregelung im offenen Bremskreis vorgenommen wird während der Druck in den anderen Verbrauchern konstant gehalten wird durch Schließen der Einlass- und Auslassventile der entsprechenden Verbraucher.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach einem Druckabbau über die Druckregelung bei geöffneten Auslassventil(en) eine Druckaufbauregelung auf Basis der Druckvolumenkennlinie erfolgt, wobei eine Weg-Offset-Korrektur der Druckvolumenkennlinie erfolgt auf Basis einer Druckmessung/Druckschätzung (z. B. Fig. 1a, dXOffset).

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach einem Druckabbau über die Druckregelung bei geöffneten Auslassventil(en) eine Druckaufbauregelung mit einem Doppelhubkolben auf Basis der Druckvolumenkennlinie erfolgt, wobei die Druckvolumenkennlinie entsprechend der wirksamen Fläche des Doppelhubkolbens im Vor- oder Rückhub (A1, A2) verwendet wird und zudem eine Weg-Offset-Korrektur der Druckvolumenkennlinie eines Doppelhubkolbens erfolgt auf Basis der einer Druckmessung/Druckschätzung (z. B. Fig. 3b, Fig. 3e, dXOffset)

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Auslassventil (AV) geöffnet wird zur Vorgabe des maximalen Druckabbaugradienten (z. B. Fig. 1b, Fig. 1c).

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Druckabbau in einem oder mehreren Verbrauchern in zeitlicher Abfolge bei abnehmenden Druck zunächst ein Auslassventil (AV) und dann weitere Auslassventile bzw. ein Ventil mit größerem Öffnungsquerschnitt geöffnet werden. (z. B. Fig. 1d)

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Zentralventil für mehrere Hydraulikkreise- bzw. Verbraucher eingesetzt wird. (z. B. Fig. 2d, Fig. 5, Fig. 6a, Fig. 6b)

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels eines Doppelhubkolbens (20) als Druckerzeugereinheit die Förderung im Vor- und Rückhub über ein schaltbares Ventil (SV) und genauer Wegsteuerung mit Umschaltung der hydraulischer wirksamen Flächen erfolgt. (z. B. Fig. 3a)

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei einem Doppelhubkolben (20) als Druckerzeugereinheit ein Druckabbau über ein Ventil (PD1) das in einer Leitung vom Verbraucher zum Doppelhubkolben angeordnet ist und über ein Ventil (PD2) in einer Leitung zum Vorratsbehälter (25). (z. B. Fig. 3b)

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Vorsteuerung der Druckabbauregelung über Druckvolumenkennlinie (z. B. Fig. 1a, Fig. 3d) und ein Kennfeld, das Volumenfluss als Funktion des Auslassventilquerschnitts und Differenzdruck darstellt) erfolgt. (z. B. Fig. 1d (M3), Fig. 1e)

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei einem Verbraucher (V1, V2) im Hydraulikkreis die Druckre-

gelung über ein Einlassventil (EV) und ein Auslassventil (AV) erfolgt und bei zumindest einem weiteren Verbraucher, vorzugsweise ein Verbraucher mit relativ kleinem Volumenbedarf, der Druckabbau über ein Auslassventil eines anderen Verbrauchers oder über ein gemeinsames zentrales Auslassventil (Zentralventil) erfolgt.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in zumindest zwei Verbrauchern (V1, V2) ein simultaner Druckaufbau und Druckabbau erfolgt, wobei das Einlassventil zum Verbraucher V2, bei dem der Druck aufgebaut wird, zur Fördereinheit geöffnet ist und der Druckaufbau vorzugsweise mittels Druckvolumenkennlinie erfolgt, während das Einlassventil des Verbrauchers V1 zur Fördereinheit geschlossen ist und der Druckabbau über Auslassventil (AV) zeitgesteuert oder über Pulsweitenmodulation (PWM) erfolgt. (Fig. 2c)

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wirkfläche (A1, A2) des Doppelhubkolbens (22) bei hohen Drücken auf eine kleinere Fläche erfolgt (Fläche A1 auf A2) zum Aufrechterhalten der Förderleistung bei hohen Differenzdrücken. (z. B. Fig. 3d)

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Druckabbauregelung und Nachsaugen des Volumens nach Regelvorgang aus dem Vorratsbehälter über ein oder mehrere E/A-Ventile (Fig. 2e) erfolgt.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere Hydraulikkreise (HK1 und HK2) hydraulisch über Zylinder-Kolben-Einheit (insbes. Schwimmkolben) miteinander verbunden werden, wobei eine Druckeinspeisung auf einer Seite des Kolbens (21) (insbes. Schwimmkolbens) erfolgt und der Schwimmkolben den Druck überträgt über eine Feder zurückgeführt wird (z. B. Fig. 7)

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Schätzung des Volumenverlustes über die Messung der Wegverschiebung des Schwimmkolbens erfolgt (Fig. 7).

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verstellweg der Fördereinheit, insbesondere des Kolbens (1, 20) der Zylinder-Kolben-Einheit, weggesteuert verschoben wird und der Verstellweg aus einer oder mehrerer Druck-Volumen-Kennlinie(n), dem Soll- und dem aktuell im System vorherrschenden Druck berechnet wird.

20. Verfahren insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Systemdruck mittels druckgesteuerten bzw. druckgeregelten Verstellen des Kolbens (1, 20) auf bzw. abgebaut wird, wobei insbesondere beim Druckaufbau zumindest ein Einlassventil (EV) zu einem Verbraucher (V1, V2) geöffnet und zumindest ein Auslassventil (AV) von einem Verbraucher (V1, V2) zu einem Vorratsbehälter (3, 25) geschlossen ist.

21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druck insbesondere mittels eines Drucksensors (5) im Bremskreis festgestellt wird und dass der Kolben (1, 20) druckgesteuert bzw. -geregelt vorgefahren wird (Vorhub), wobei ein oder mehrere Auslassventile (AV) zu einem Vorratsbehälter (3, 25) geöffnet werden.

22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Feststellung des Druckes im Bremskreis mittels Druckschätzung über eine Drehmomentberechnung des Elektromotors mittels Auswertung des Phasenstromes und Getriebeübersetzung/Wirkungsgrad ergänzt wird.

23. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Ansteuerung zumindest zweier Verbraucher (V1, V2) mittels Multiplexsteuerung erfolgt, wobei insbesondere der Druck in zumindest zwei Verbrauchern zeitlich zumindest teilweise nacheinander über eine Kolbenwegsteuerung erfolgt und die Ventile (EV, AV) nur als Schaltventile gesteuert werden.

24. Vorrichtung zur Druckregelung von hydraulischen Systemen, insbesondere Druckregelvorrichtung für eine elektromechanische Bremsanlage, mit einem elektromechanischen Aktuator, insbesondere Motor-Getriebe-Einheit (M, G), einer vom Aktuator (M, G) angetriebenen Fördereinrichtung, insbesondere Zylinder-Kolben-Einheit deren Kolben (1) zumindest einen Druckraum (2) bildet, der über eine Hydraulikleitung und ein Einlassventil (EV) mit zumindest einem Verbraucher (V1), insbesondere Bremszylinder verbunden ist, und mit zumindest einem Auslassventil (AV) für den bzw. die Verbraucher (V1) zu deren Verbindung mit einem Vorratsbehälter (3), insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der weggesteuerte Kolben (1) der Zylinder-Kolben-Einheit als Stellglied für die Druckregelung verwendet wird. (z. B. Fig. 1-1).

25. Vorrichtung zur Druckregelung von hydraulischen Systemen, insbesondere Druckregelvorrichtung für eine elektromechanische Bremsanlage, mit einem elektromechanischen Aktuator, insbesondere Motor-Getriebe-Einheit (M, G), einer vom Aktuator

(M, G) angetriebenen Fördereinrichtung bzw. Förderereinheit, insbesondere einer Pumpe (P) mit variabler Förderleistung die zumindest einen Druckraum bildet, der über eine Hydraulikleitung und optional ein Einlassventil (EV) mit zumindest einem Verbraucher (V1), insbesondere Bremszylinder verbunden ist, und mit zumindest einem Auslassventil (AV) für den bzw. die Verbraucher (V1) zu deren Verbindung mit einem Vorratsbehälter (3), insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fördereinheit als Stellglied für die Druckregelung verwendet wird. (z. B. **Fig.** 1-2)

sche Leitung mit einer weiteren Zylinder-Kolben-Einheit verbunden ist, um einem vom Kolben (21) dieser Kolben-Zylinder-Einheit begrenzten Druckraum (21a) Druckmittel zuzuführen und optional aus diesem abzuführen, wobei zumindest einem weiteren Druckraum (21b) der Kolben-Zylinder-Einheit, der über eine hydraulische Leitung mit zumindest einem Verbraucher verbunden ist Druckmittel zu bzw. optional aus diesem abgeführt werden kann, wobei insbesondere zumindest zwei Druckräume der Zylinder-Kolben-Einheit über eine hydraulische Leitung verbunden sind, in der ein Schaltventil (TV) angeordnet ist.

Es folgen 22 Seiten Zeichnungen

26. Vorrichtung nach Anspruch 24 oder 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Druckraum (21a) der Zylinder-Kolben-Einheit mit Verbrauchern eines ersten Hydraulikkreises (HK2) über Hydraulikleitungen (2a) verbunden ist und eine weitere eine Hydraulikleitung (2c) auf einen Schwimmkolben wirkt und zudem ein mechanisch betätigter Stößel (9) eine Kraft F_{ped} auf den Schwimmkolben ausübt und dass der Druck bzw. die Kraft über den Schwimmkolben auf einen zweiten Druckraum 21b wirkt und dieser Druck auf einen zweiten Hydraulikkreis HK1 übertragen wird. (z. B. **Fig.** 7)

27. Vorrichtung nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Trennventil TV vorgesehen ist, das beide Hydraulikkreise HK1 und HK2 verbindet und eine Verbindung zwischen den Hydraulikkreisen (HK1 und HK2) herstellt. (z. B. **Fig.** 7)

28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine kontinuierlich wirkende Fördereinrichtung, insbesondere Kolben-Zylinder-Einheit mit Doppelhubkolben (20) vorgesehen ist.

29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 28, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Doppelhubkolben (20) mit einer dessen Druckräume verbindenden hydraulischen Leitung mit schaltbarem Ventil (SV) ausgeführt ist.

30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 29, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fördereinrichtung, insbesondere der Doppelhubkolben (20) zum Druckaufbau und zum Druckabbau verwendet wird, vorzugsweise zum Druckaufbau.

31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 30, **dadurch gekennzeichnet**, dass für zumindest zwei Verbraucher (V1, V2) nur ein Auslassventil (AV) oder Einlass/Auslassventil (E/A) zum Vorratsbehälter (25) vorgesehen ist.

32. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 31, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fördereinrichtung bzw. Förderereinheit über eine hydraulische

Anhängende Zeichnungen

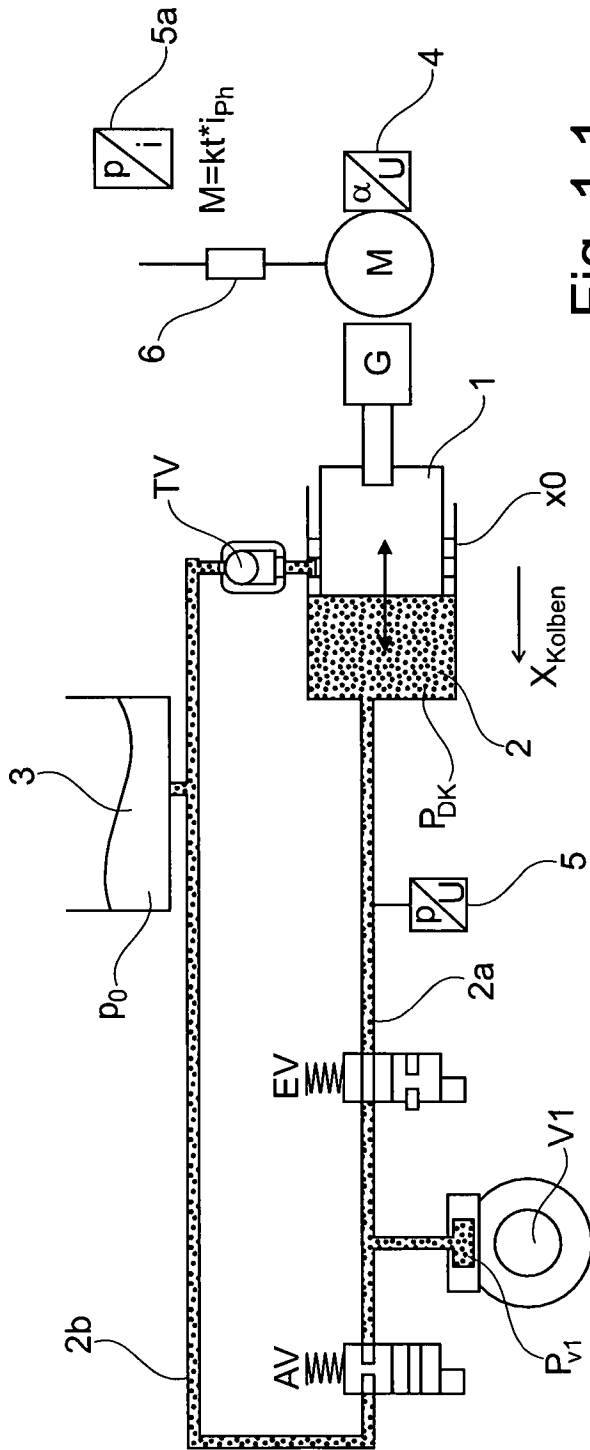


Fig. 1-1

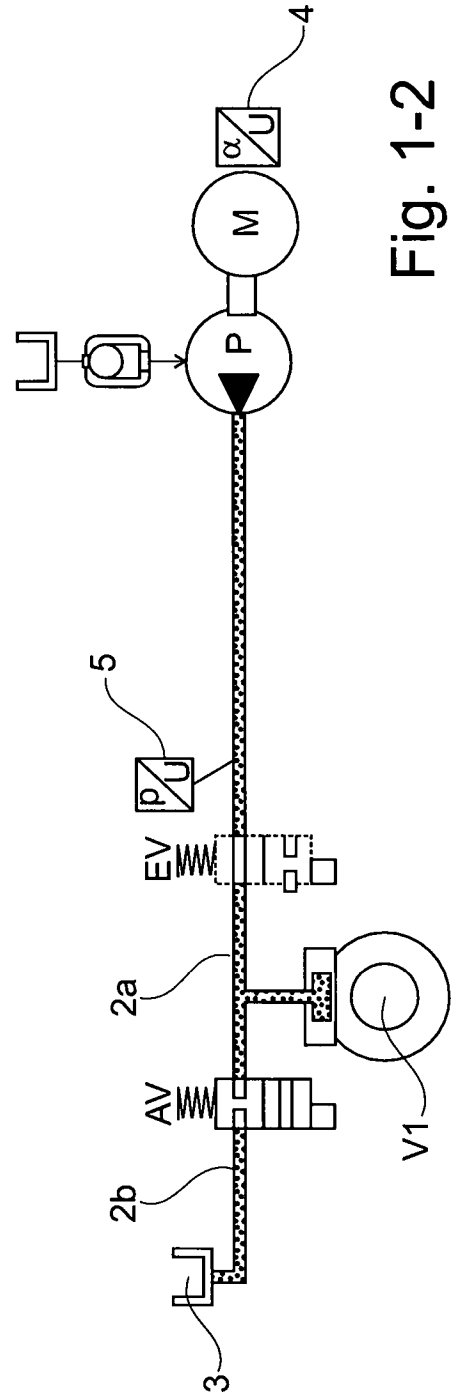


Fig. 1-2

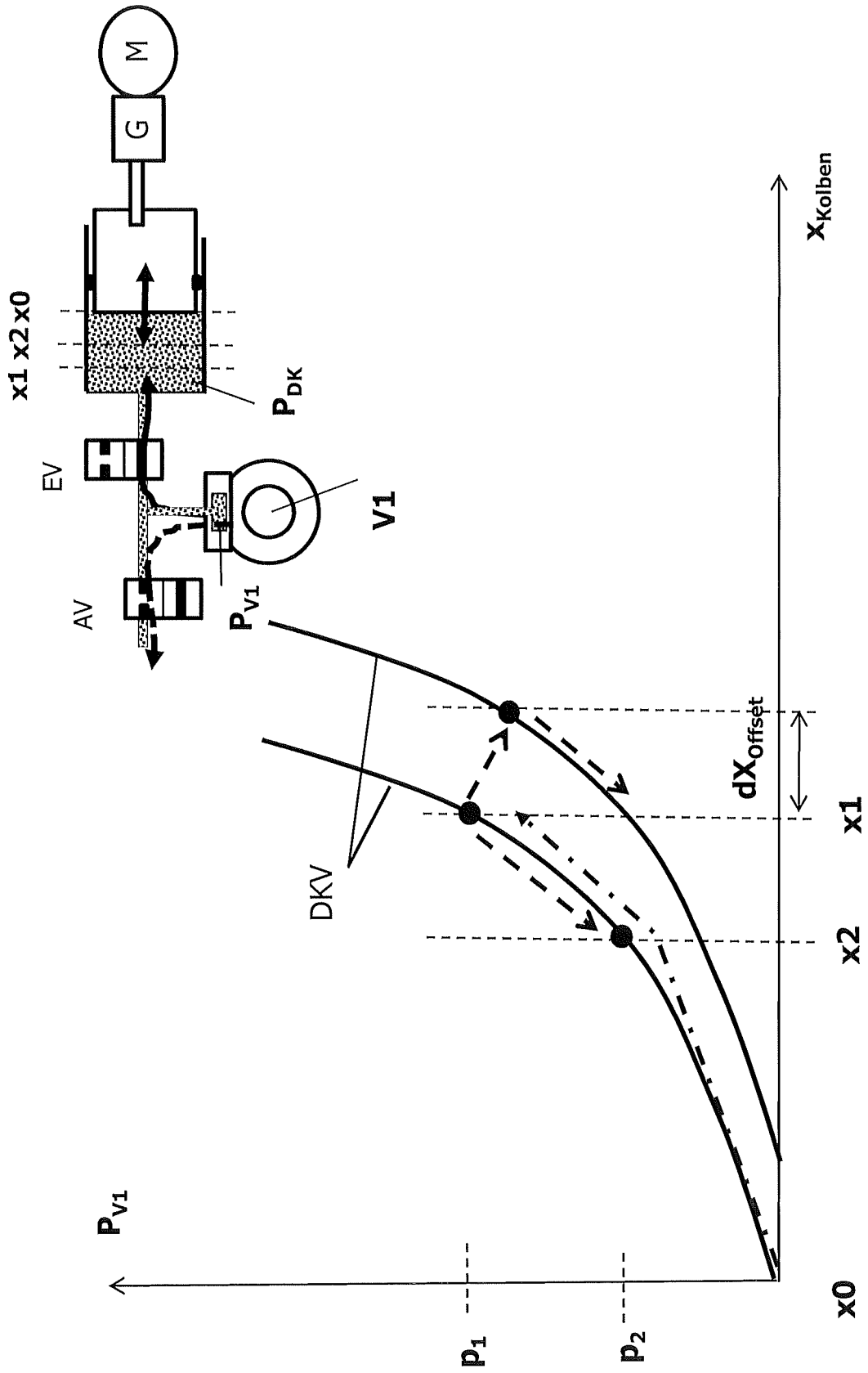


Fig. 1a

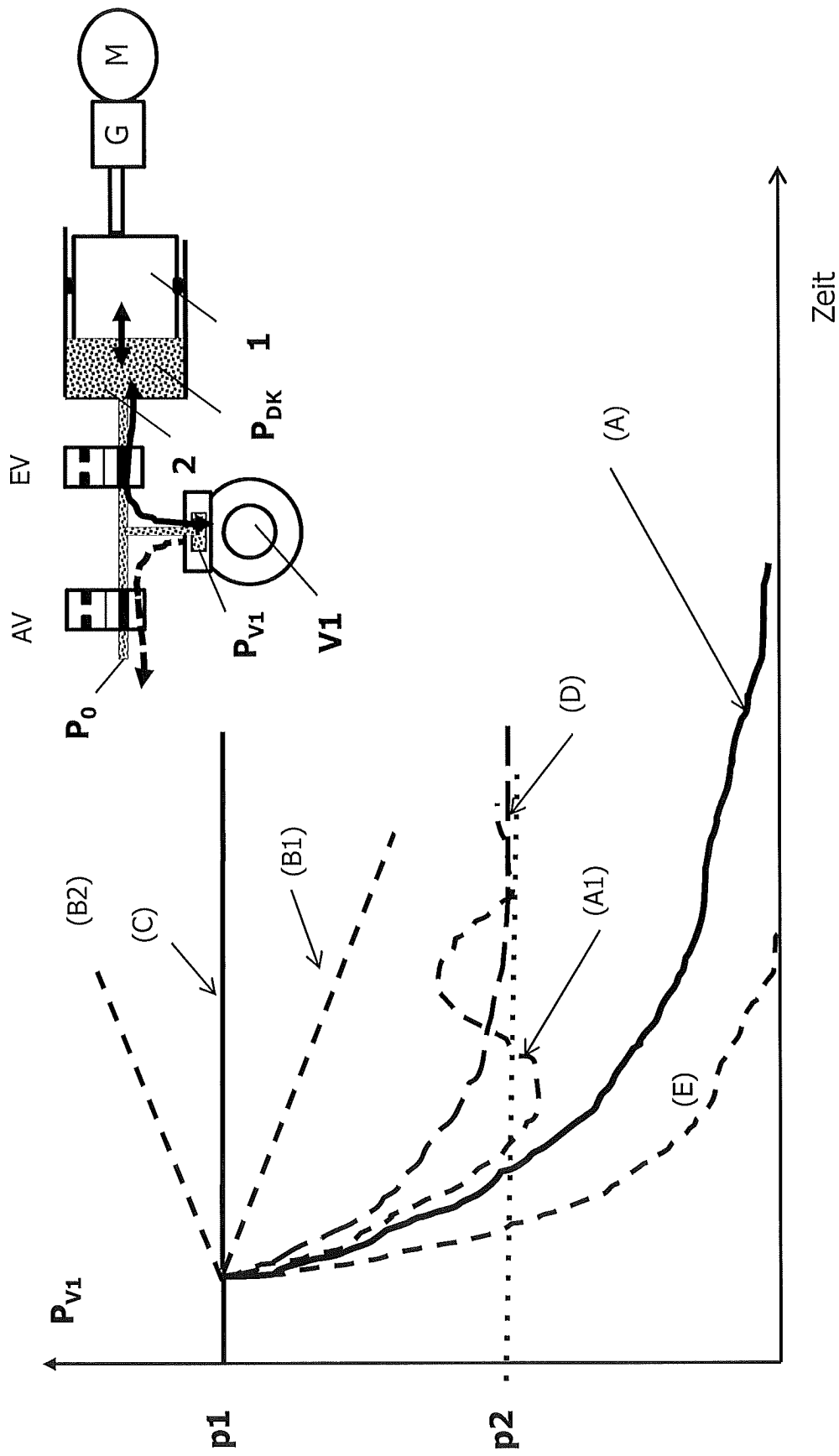


Fig. 1b

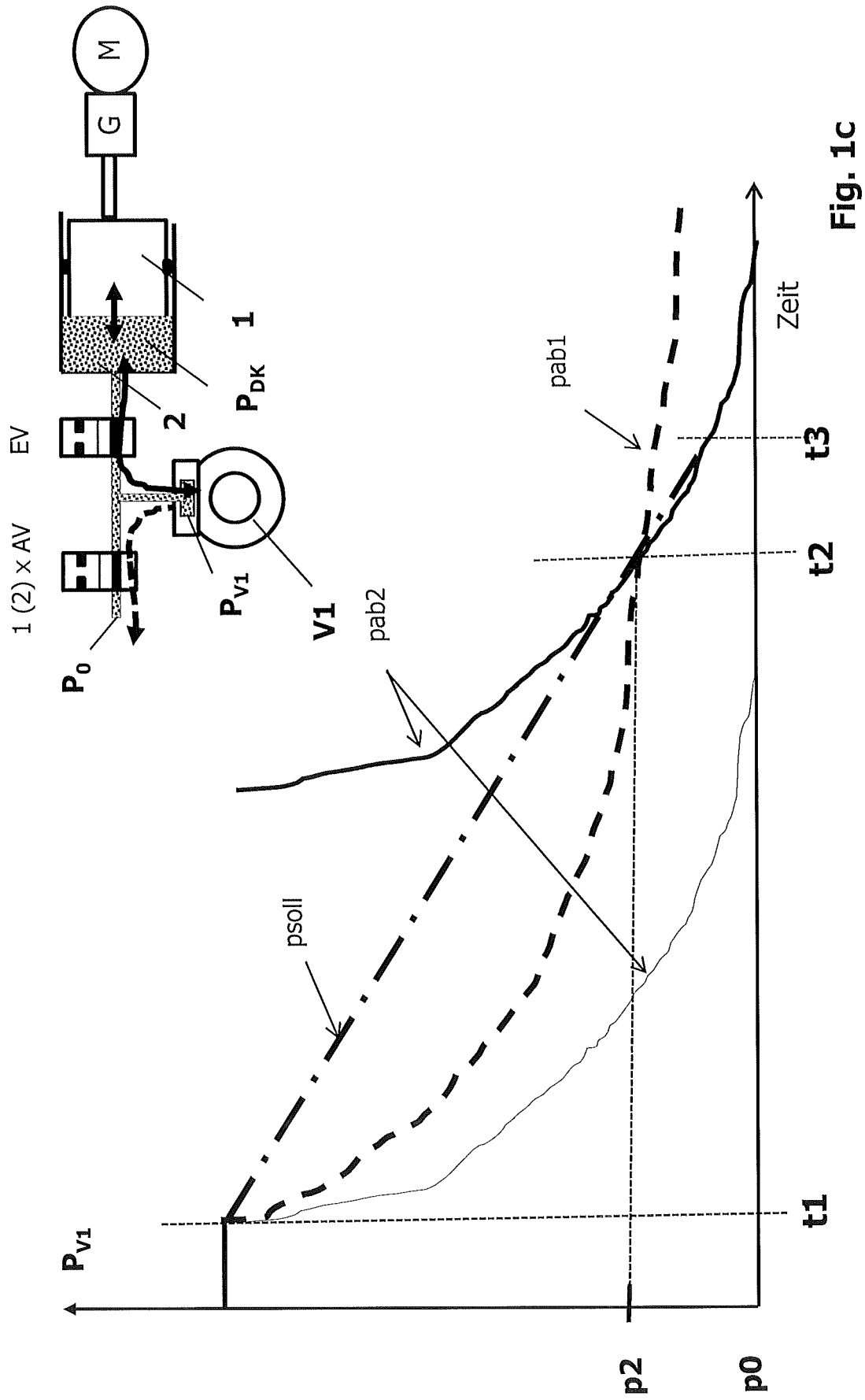


Fig. 1c

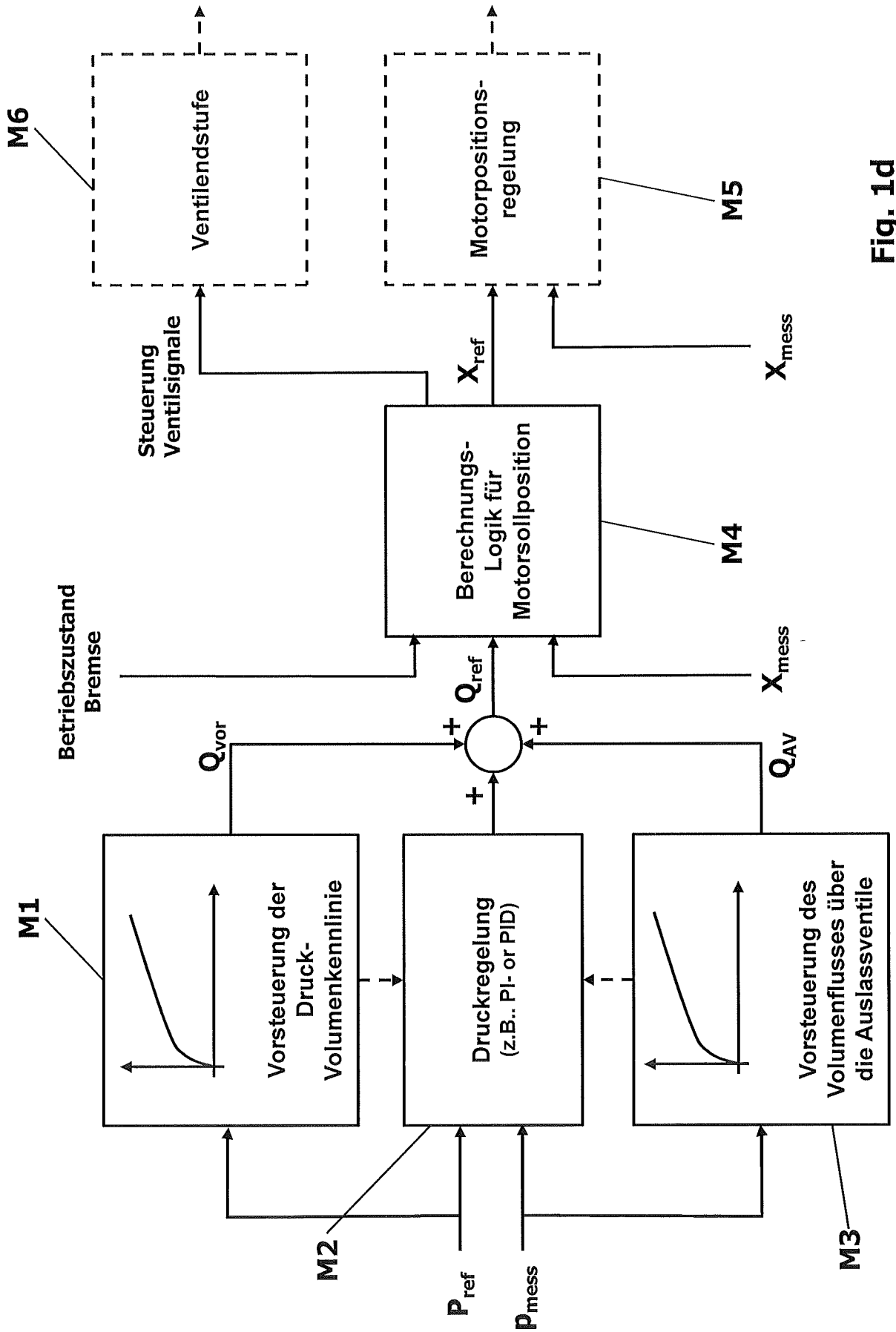


Fig. 1d

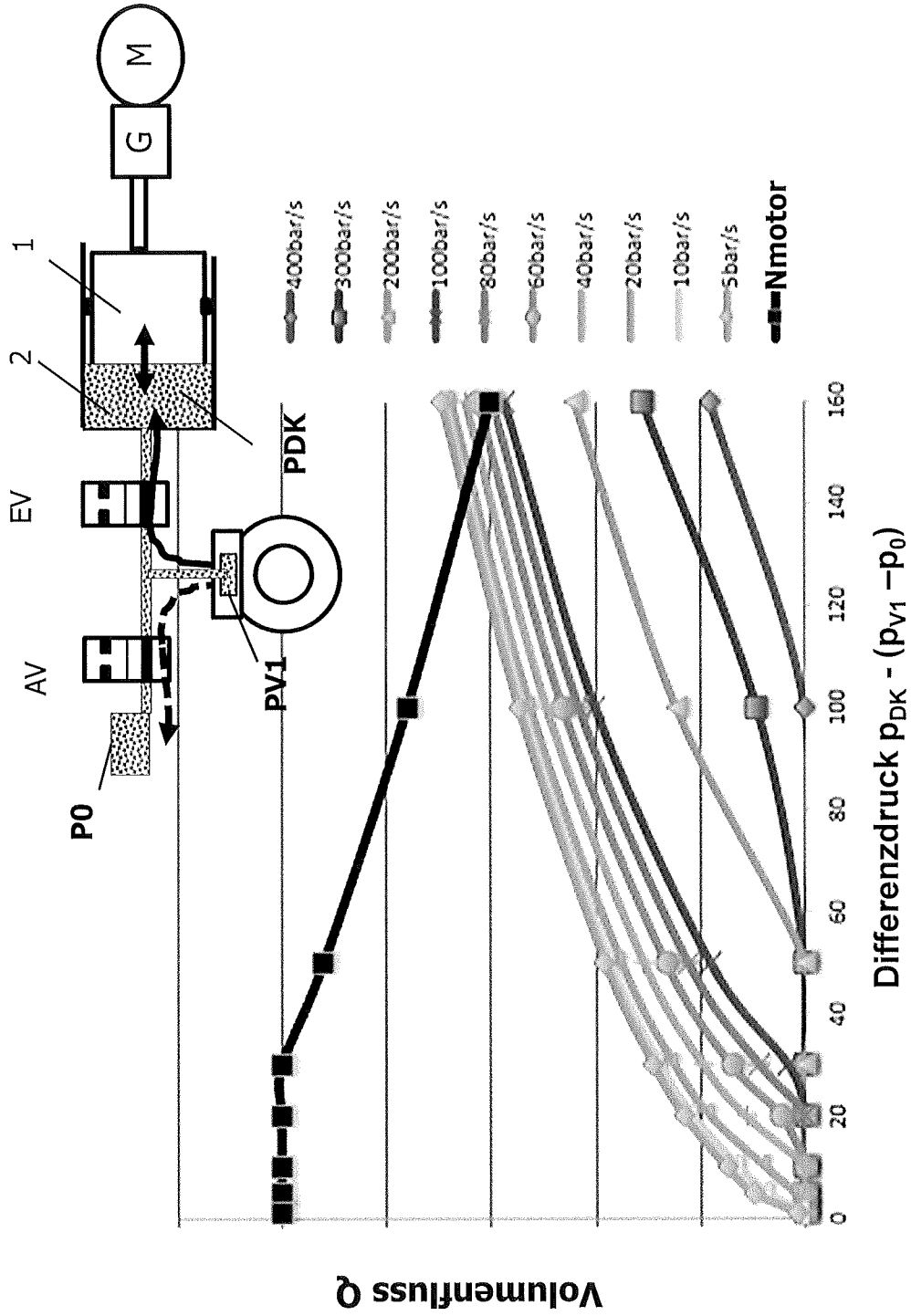


Fig. 1e

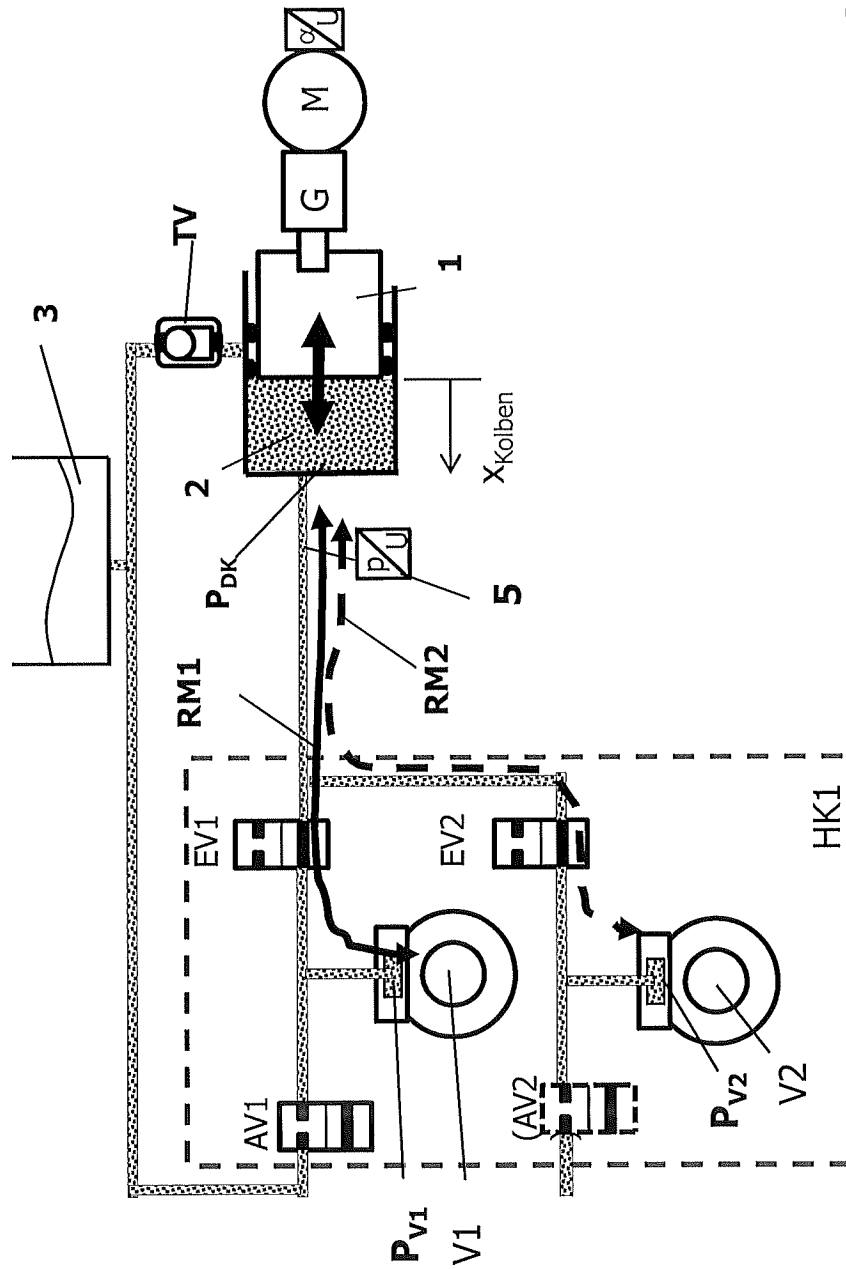


Fig. 2a

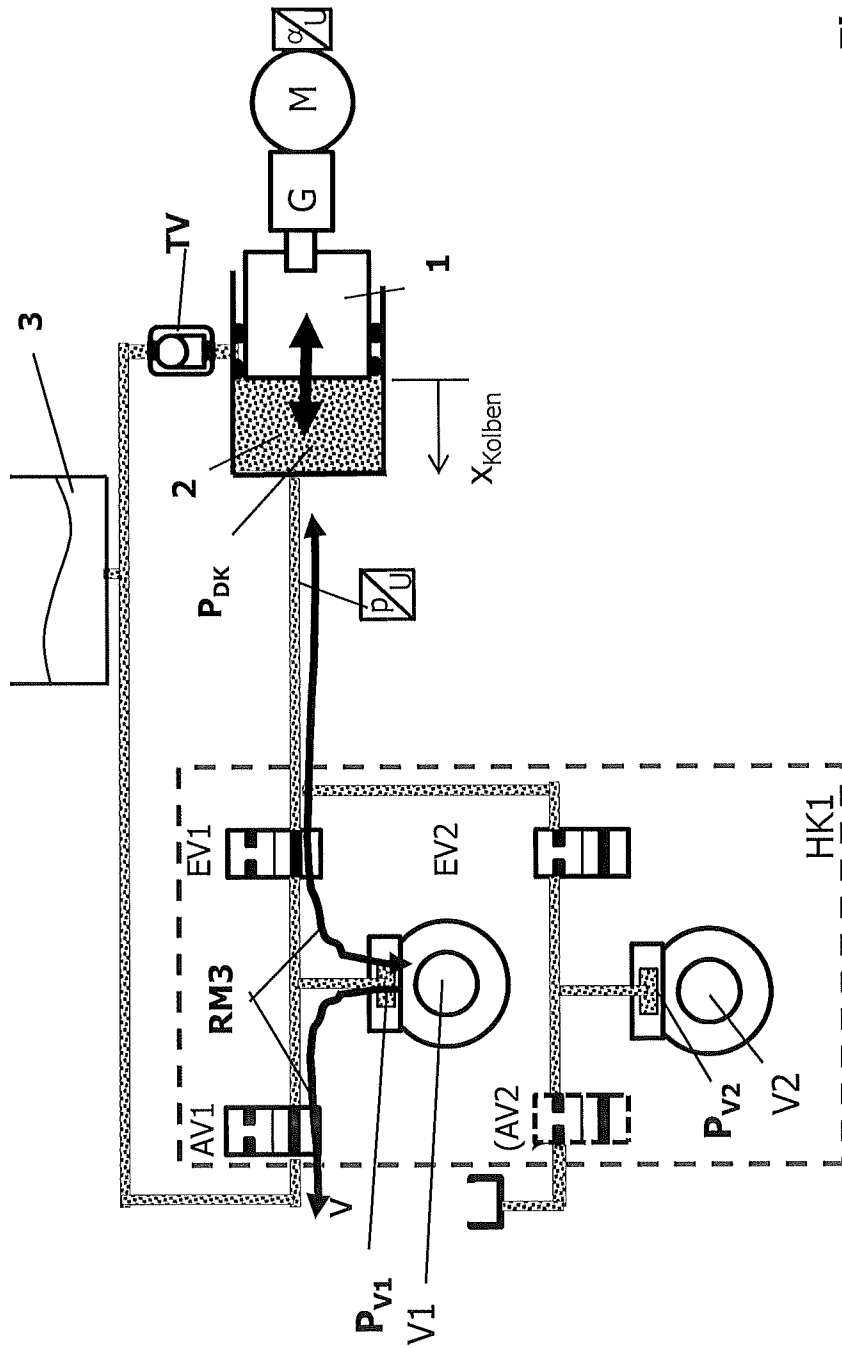


Fig. 2b

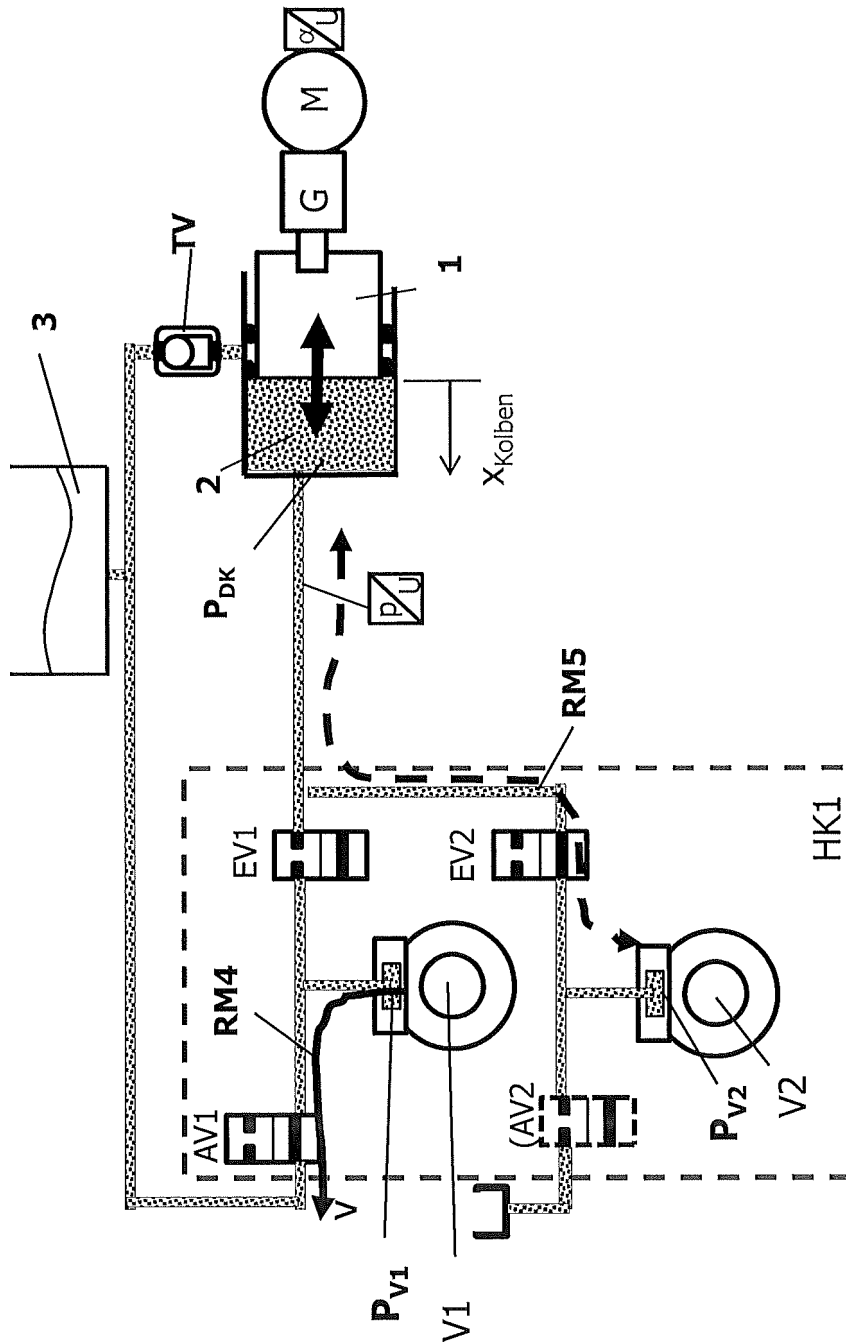


Fig. 2c

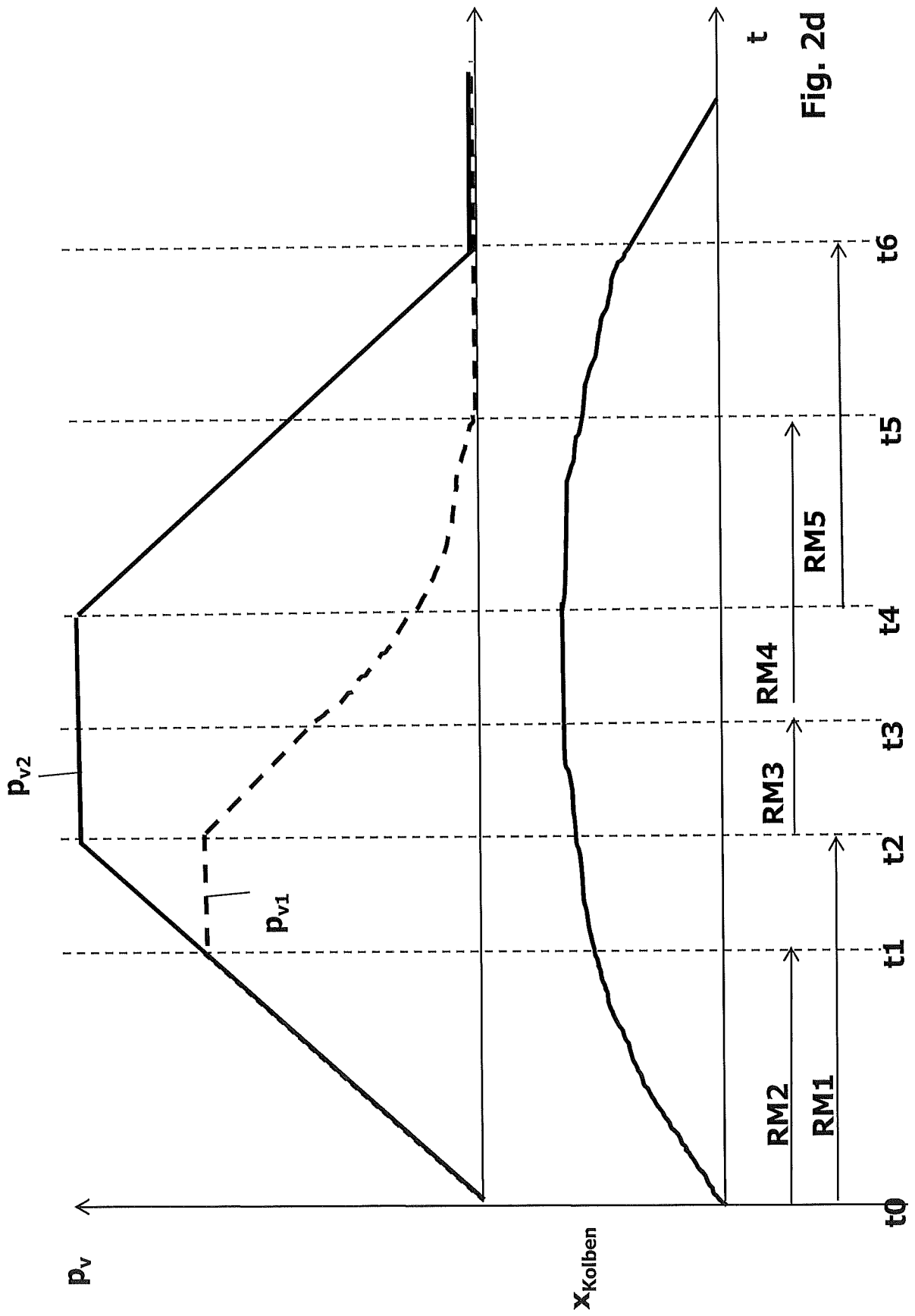


Fig. 2d

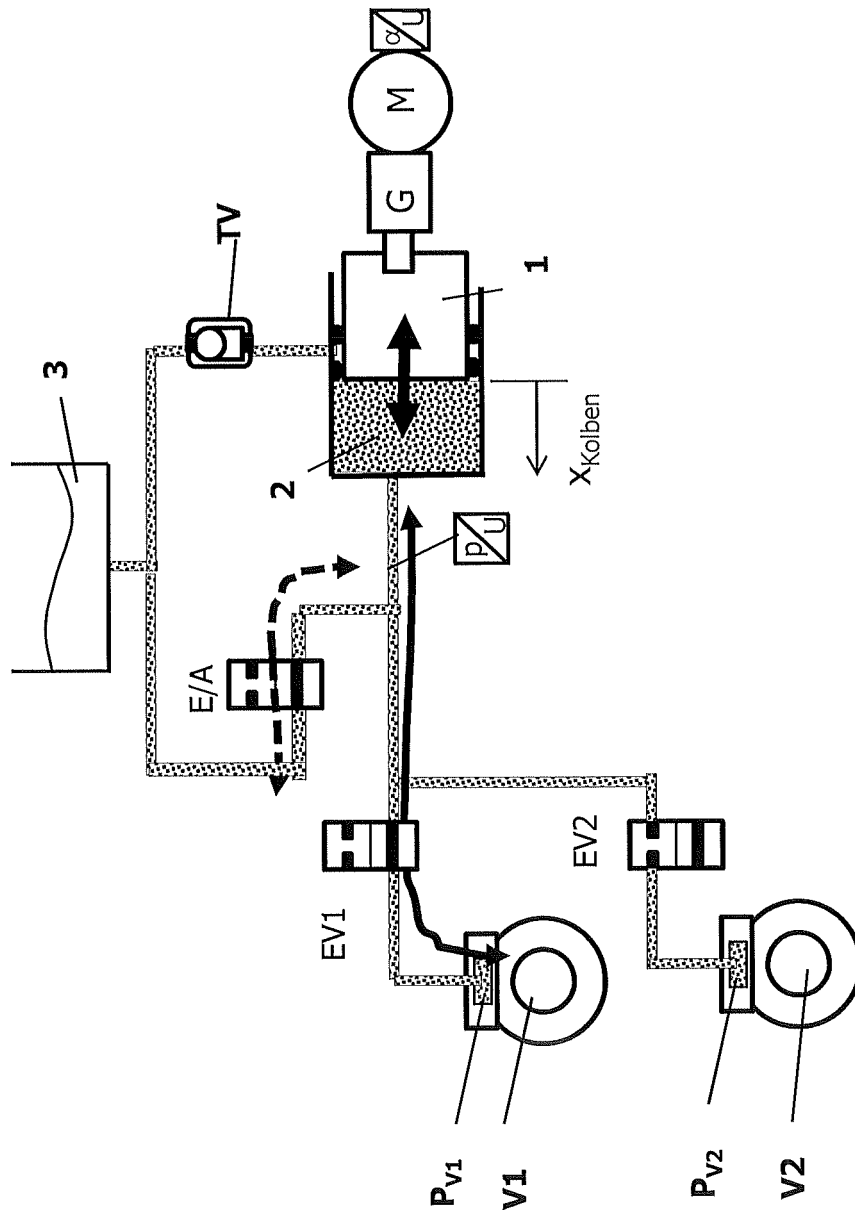


Fig. 2e

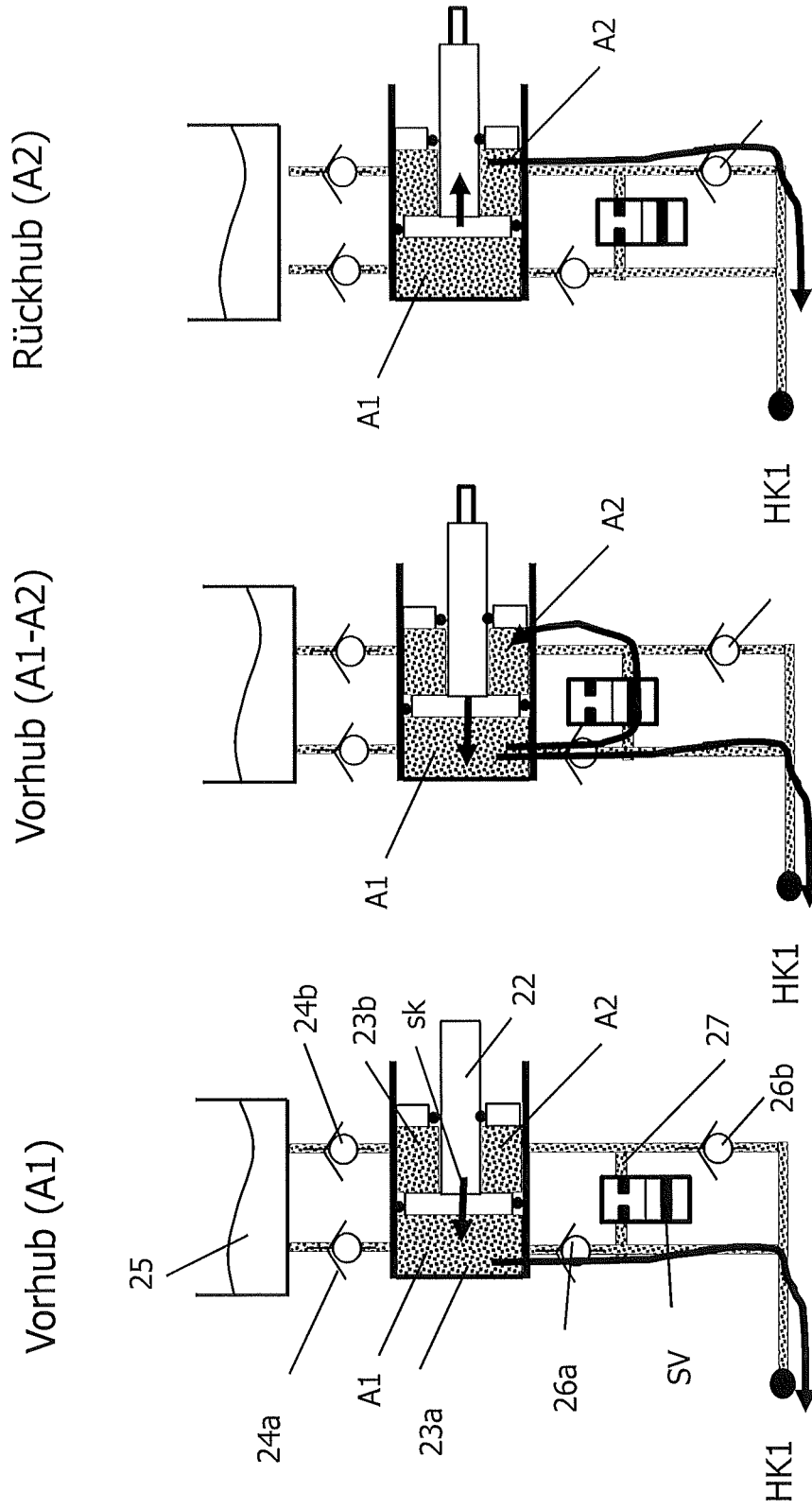


Fig. 3a

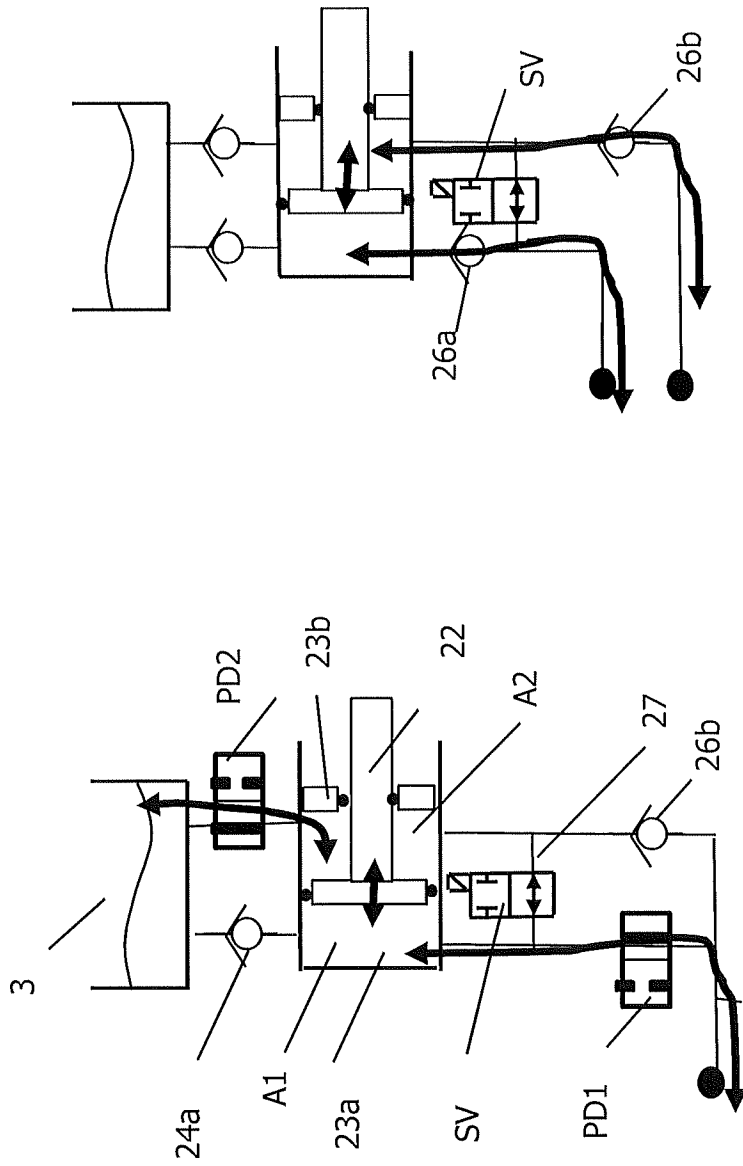


Fig. 3c

Fig. 3b

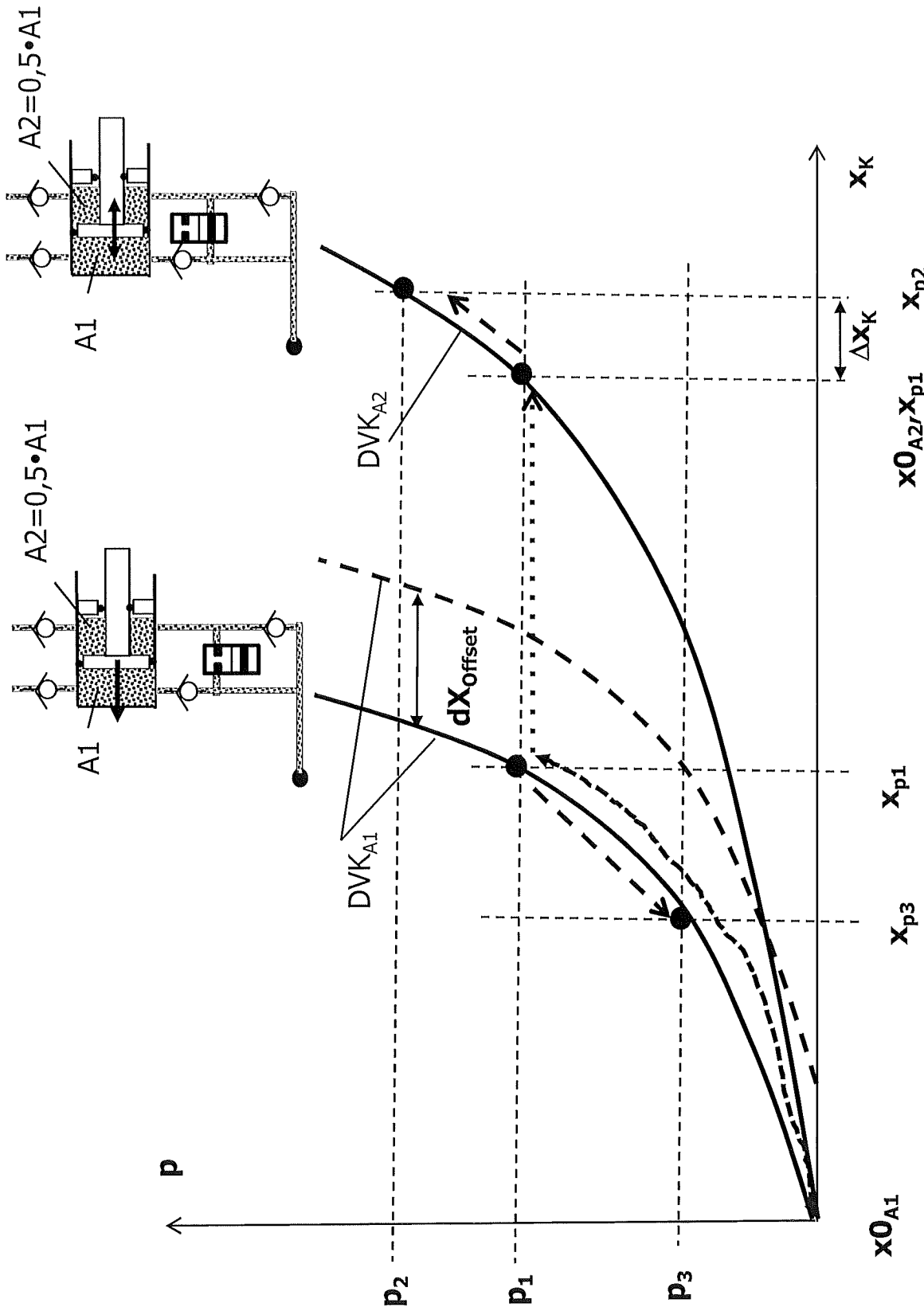


Fig. 3d

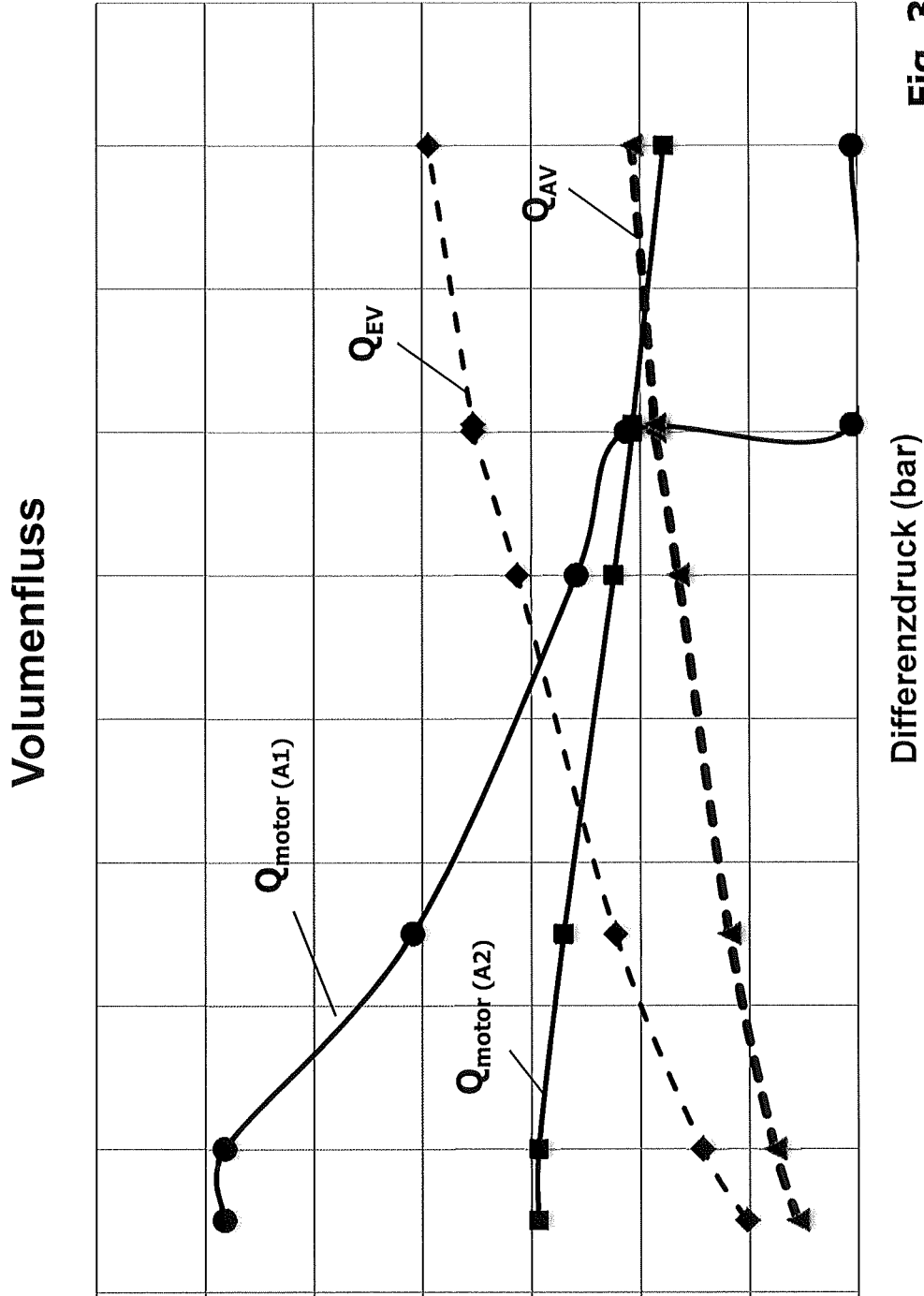


Fig. 3e

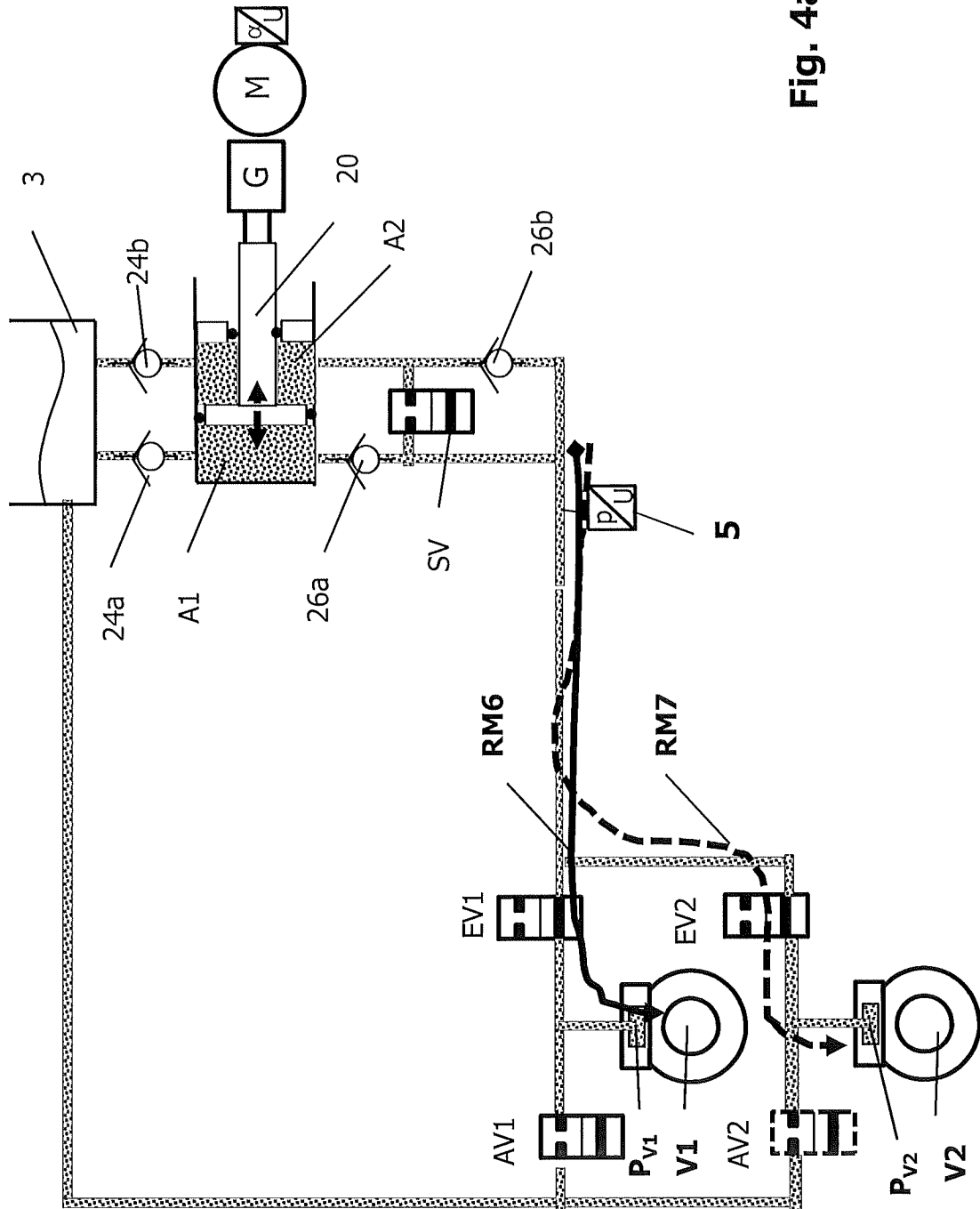


Fig. 4a

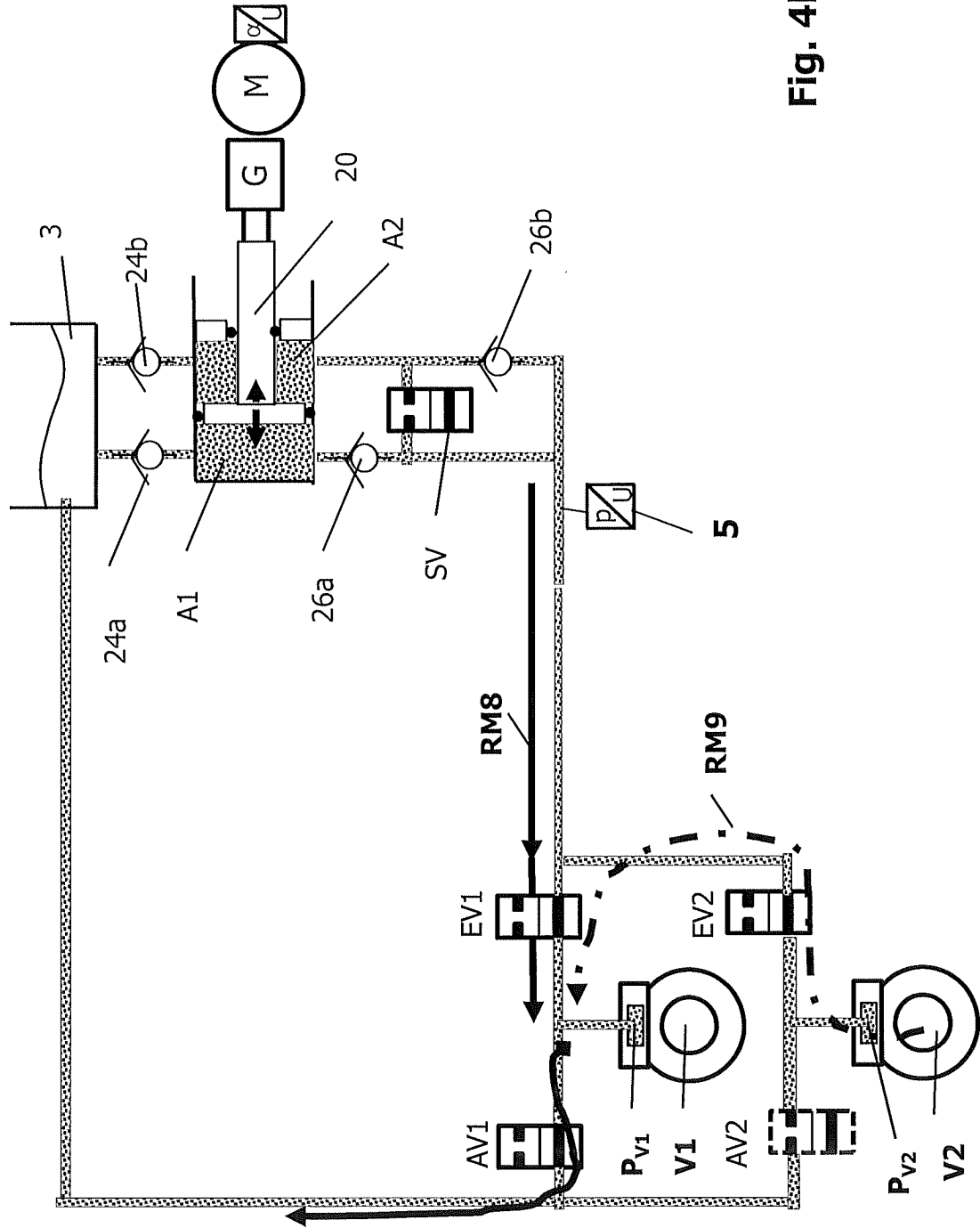


Fig. 4b

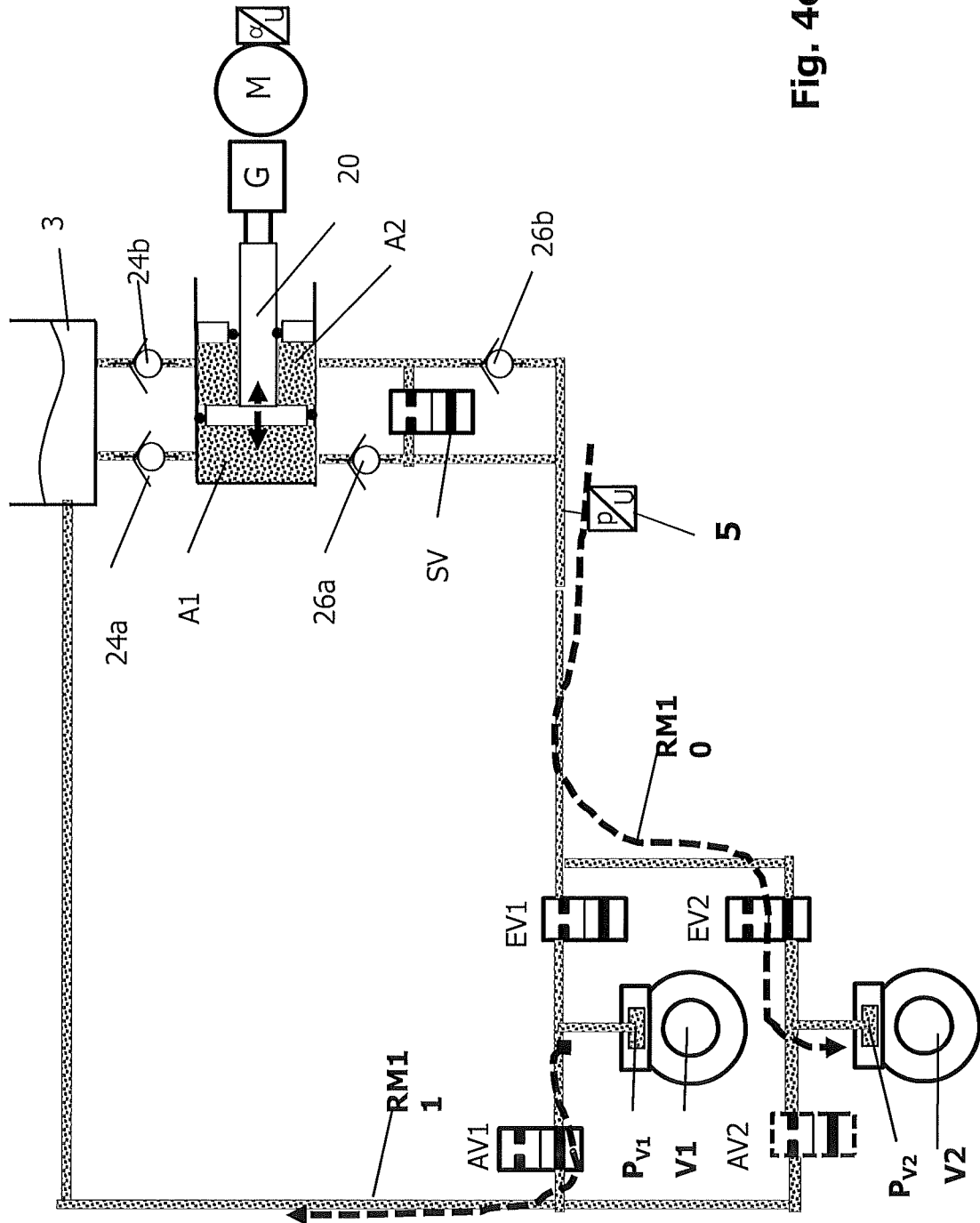


Fig. 4C

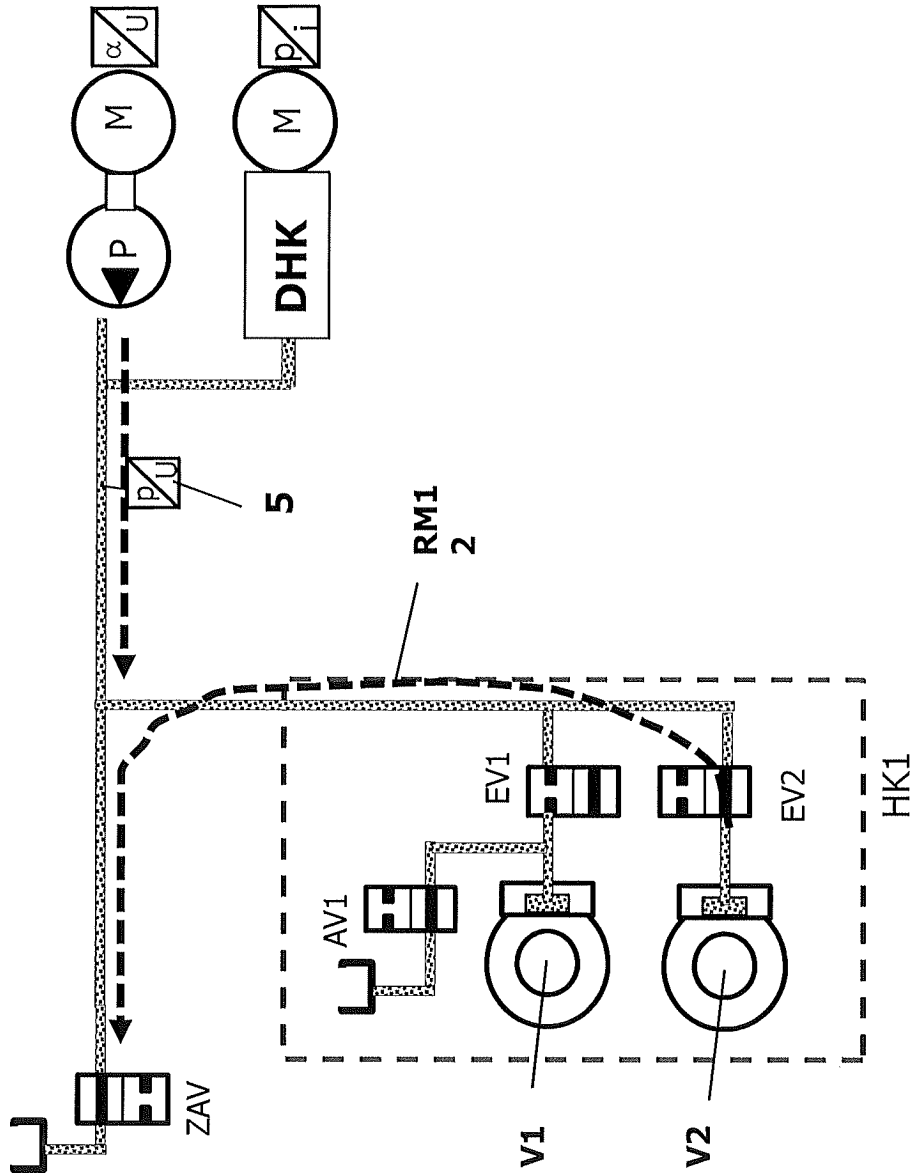


Fig. 5

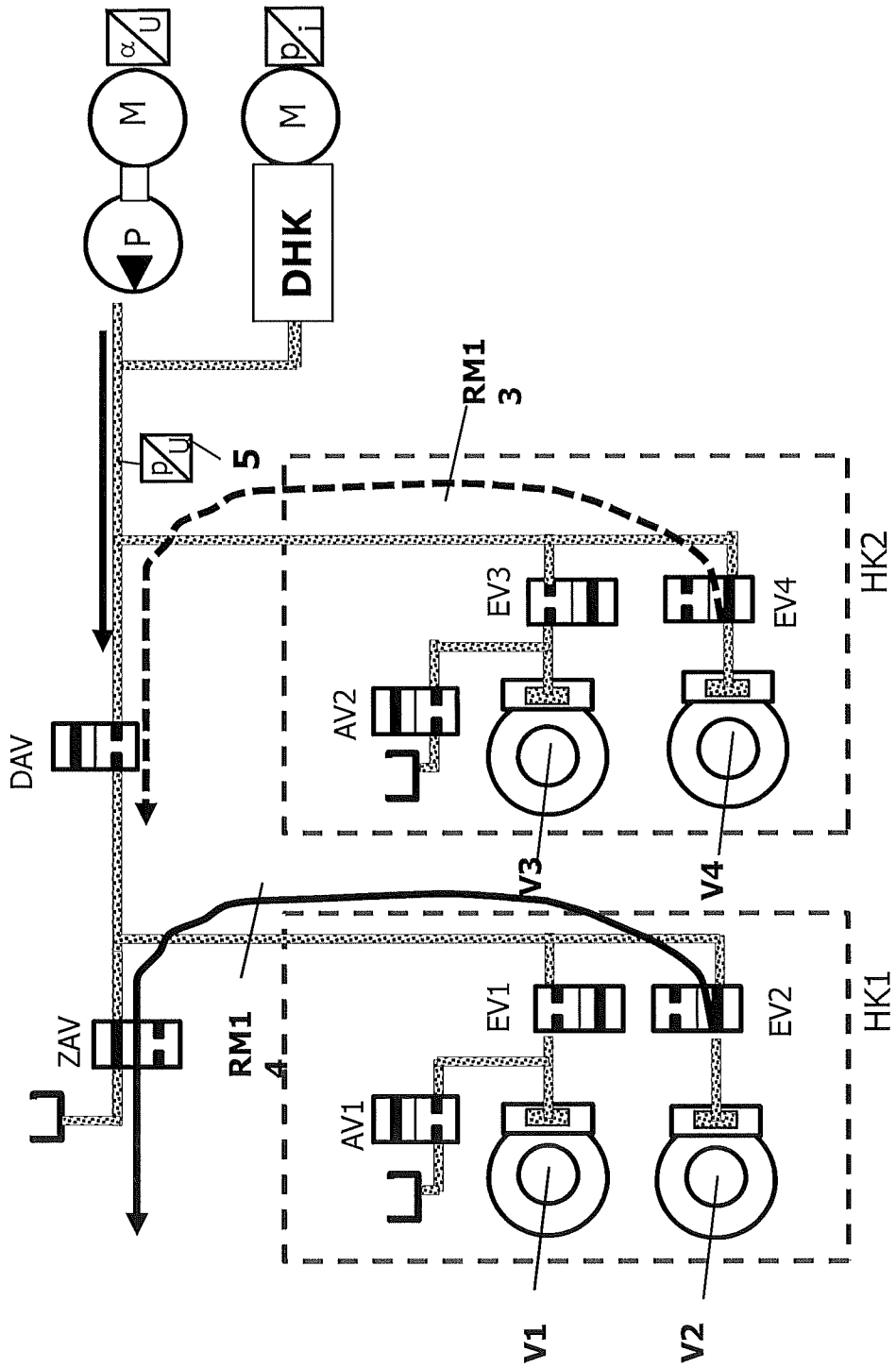


Fig. 6a

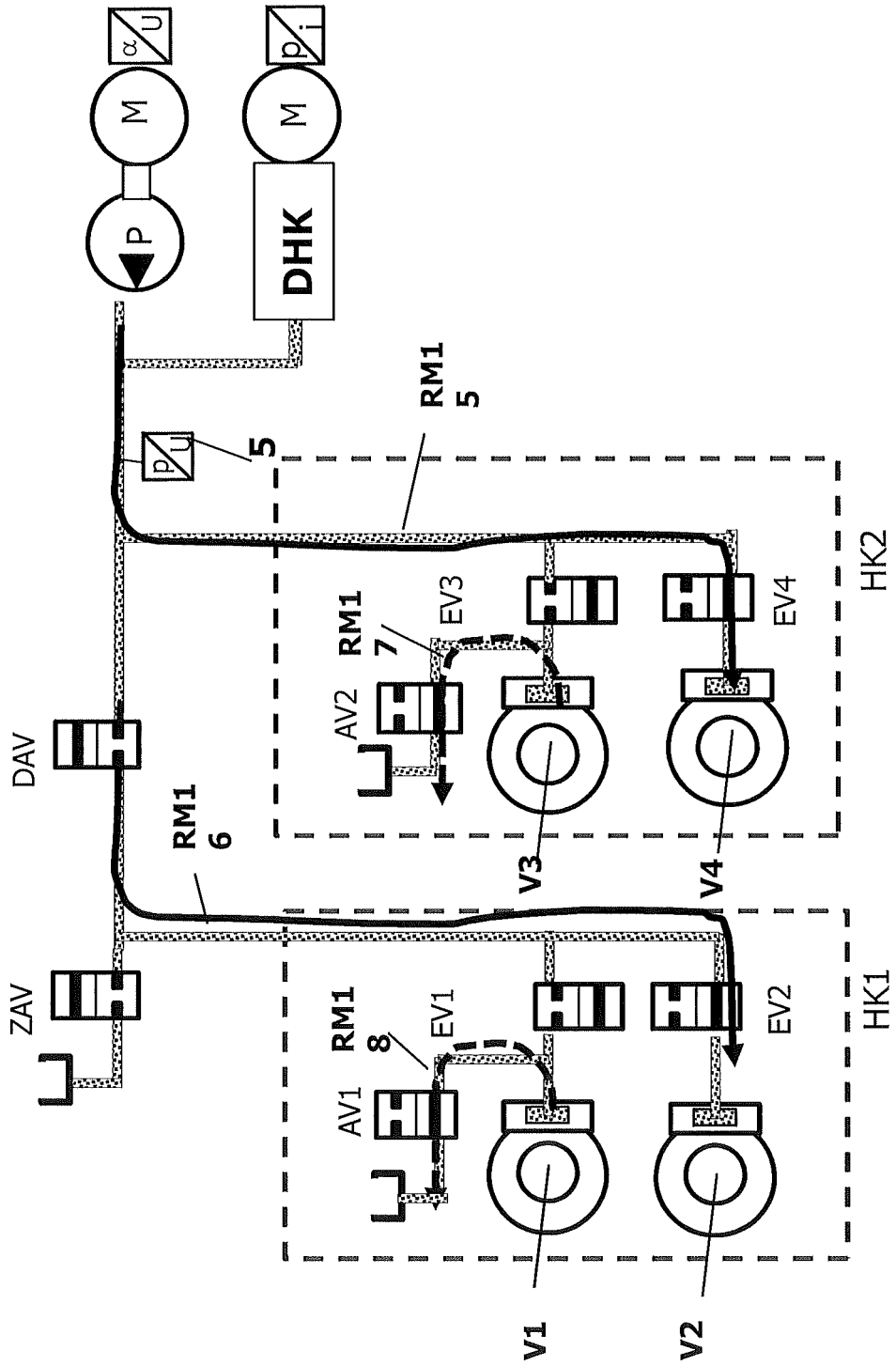


Fig. 6b

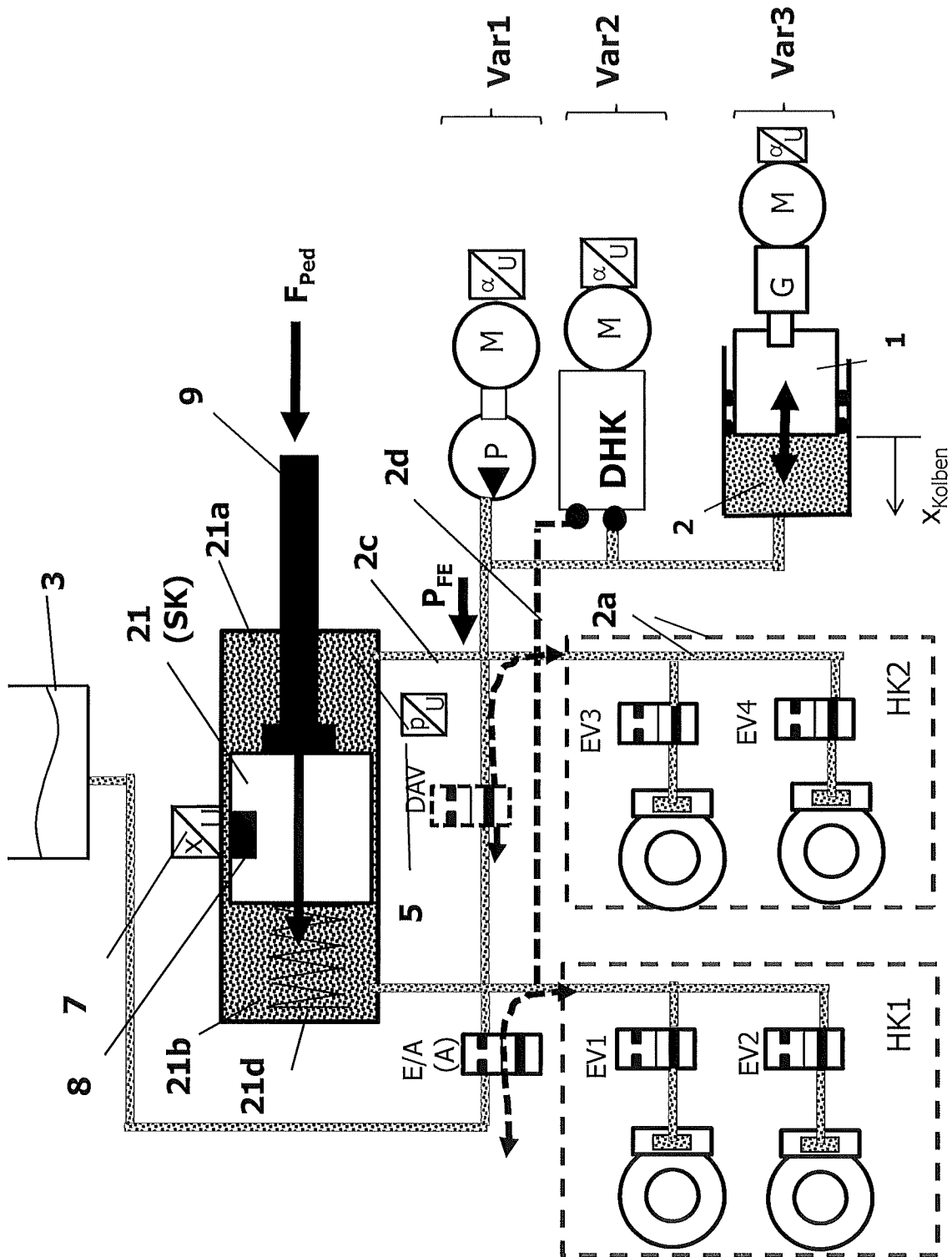


Fig. 7