

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
26. Oktober 2017 (26.10.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/182202 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F16K 31/126 (2006.01) *F16K 31/165* (2006.01)
F16K 31/163 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/056267

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. März 2017 (16.03.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
16165928.9 19. April 2016 (19.04.2016) EP

(71) Anmelder: PRIMETALS TECHNOLOGIES AUSTRIA GMBH [AT/AT]; Turmstraße 44, 4031 Linz (AT).

(72) Erfinder: MIKOTA, Gudrun; Hauptstr. 52, 4210 Gallneukirchen (AT). MIKOTA, Josef; Hauptstraße 52, 4210 Gallneukirchen (AT).

(74) Anwalt: METALS@LINZ; Intellectual Property Upstream IP UP, Turmstrasse 44, 4031 Linz (AT).

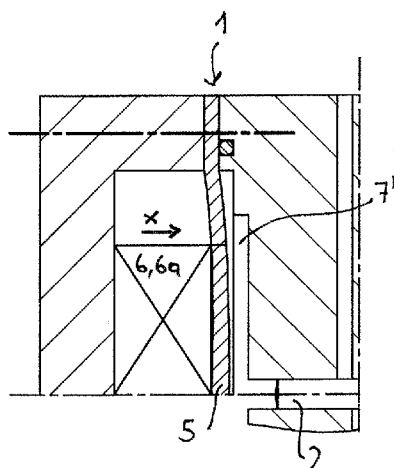
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS,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

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,

(54) Title: PIEZOELECTRICALLY ACTUATED QUICK-ACTION HYDRAULIC VALVE

(54) Bezeichnung: SCHNELLES, PIEZOELEKTRISCH ANGESTEUERTES HYDRAULIKVENTIL

Fig 2b



(57) Abstract: The invention relates to a hydraulic valve (3) comprising an actuation device (1, 1a, 1b) for a control piston (2). The invention provides a quick-action hydraulic valve (3) which is particularly simple, robust, and insensitive to dirt. This is achieved by an actuation device (1, 1a, 1b) which has the following: - a flexurally rigid metal plate (5), an outer region of the metal plate (5) being fixed to the housing (4) in a stationary manner; - a piezoelectric actuator (6), wherein the piezoelectric actuator (6) can bend a central region of the metal plate (5); and - a pressure chamber (7) which is filled with a pressurized liquid during operation, said pressure chamber (7) being delimited by the housing (4), the metal plate (5), and the control piston (2). The metal plate (5) seals the pressure chamber (7), and the pressure chamber (7) acts on the control piston (2). A surface area A_P of the metal plate (5) over the pressure chamber (7) is larger than the cross-sectional area A_K of the control piston (2).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Hydraulikventil (3) mit einer Betätigungseinrichtung (1, 1a, 1b) für einen Steuerkolben (2). Durch die Erfindung wird ein schnelles Hydraulikventil (3) geschaffen, das besonders einfach, robust und schmutzunempfindlich ist. Die Lösung erfolgt durch eine Betätigungseinrichtung (1, 1a, 1b) aufweisend - eine biegesteife Metallplatte (5), wobei ein äußerer Bereich der Metallplatte (5) am Gehäuse (4) ortsfest festgelegt ist; - einen piezoelektrischen Aktuator (6), wobei der piezoelektrische Aktuator (6) einen zentralen Bereich der Metallplatte (5) durchbiegen kann; und - den im Betrieb mit der Druckflüssigkeit gefüllten Druckraum (7), wobei der Druckraum (7) von dem Gehäuse (4), der Metallplatte (5) und dem Steuerkolben (2) begrenzt wird, die Metallplatte (5) den Druckraum (7) abdichtet und der Druckraum (7) den Steuerkolben (2) beaufschlagt, und wobei eine Fläche A_P der Metallplatte (5) über dem Druckraum (7) größer ist als die Querschnittsfläche A_K des Steuerkolbens (2).

DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,
LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI,
SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Beschreibung

Schnelles, piezoelektrisch angesteuertes Hydraulikventil

5 Gebiet der Technik

Die vorliegende Erfindung betrifft das technische Gebiet der Hydraulik. In der Hydraulik werden Hydraulikventile vielfältig eingesetzt, z.B. zur Steuerung oder Regelung von hydraulischen Antrieben, wie linear sich bewegenden Hydraulikzylindern oder rotierenden Hydraulikmotoren, oder in der sog. Sekundärkühlung einer Stranggießmaschine zum Öffnen, Schließen bzw. Einstellen von Kühlmittelströmen.

15 Konkret betrifft die Erfindung ein schnelles Hydraulikventil mit einer Betätigungseinrichtung für einen Steuerkolben, wobei das Hydraulikventil

- ein Gehäuse,
- den Steuerkolben mit einer Querschnittsfläche A_K , wobei
- 20 der Steuerkolben im Gehäuse in axialer Richtung verschiebbar ist und durch das Verschieben des Steuerkolbens ein Durchfluss einer Druckflüssigkeit einstellbar ist, und
- zumindest eine Betätigungseinrichtung zum Verschieben
- 25 des Steuerkolbens

umfasst.

Durch die Betätigungseinrichtung wird der Steuerkolben, der eine Querschnittsfläche A_K aufweist, in axialer Richtung im Gehäuse verschoben. Dadurch wird der Durchfluss einer Druckflüssigkeit (bspw. Hydrauliköl, Kühlmittel oder Wasser) durch das Hydraulikventil geöffnet oder geschlossen oder der Durchfluss bzw. der Druck der Druckflüssigkeit auf einen bestimmten Wert eingestellt. Einerseits kann durch das

30 Betätigen der Betätigungseinrichtung ein hydraulischer Antrieb ein- oder ausgeschaltet werden, oder auf eine - mit dem Durchfluss der Druckflüssigkeit durch das Hydraulikventil korrespondierende - Geschwindigkeit eingestellt werden.

Andererseits kann über den Durchfluss der Druckflüssigkeit durch das Hydraulikventil die Kühlung, z.B. in einem Walzwerk oder in der Sekundärkühlung einer Stranggießmaschine, gezielt ein- oder ausgeschaltet werden, oder die Kühlleistung, der
5 Volumenstrom oder der Druck, der Druckflüssigkeit auf einen bestimmten Sollwert eingestellt werden. Die Einstellung erfolgt dabei entweder unstetig bzw. schaltend, z.B. durch periodisches Ein- und Ausschalten des Volumenstroms, oder stetig, wobei die Betätigungseinrichtung den Steuerkolben des
10 Hydraulikventils auf eine vorbestimmte Position verfährt.

Stand der Technik

Im Stand der Technik sind bereits unterschiedlichste
15 Hydraulikventile mit Betätigungseinrichtungen bekannt. Durch die Betätigungseinrichtungen wird der Steuerkolben entweder direkt oder indirekt (bzw. vorgesteuert) betätigt.

Besonders schnelle stetige Hydraulikventile werden nach dem
20 Stand der Technik meist als sog. ein- oder mehrstufige Servoventile ausgeführt. In diesem Fall wird der Steuerkolben durch mindestens eine als Servo-Vorstufe ausgebildete Betätigungseinrichtung indirekt (bzw. vorgesteuert) betätigt. In schnellen unstetigen Hydraulikventilen (kurz Schaltventile
25 genannt) wird der Steuerkolben durch eine Betätigungseinrichtung mit zumindest einem Proportional- oder Regelmagneten direkt betätigt.

Servoventile sind aufgrund der hohen technischen Komplexität
30 der Servo-Vorstufe sehr kompliziert. Außerdem sind sie schmutzempfindlich, wenig robust und teuer. Schließlich ist die Steuerung oder Regelung eines Servoventils aufgrund der ausgeprägten Nichtlinearitäten der Servo-Vorstufe (vor allem durch das Düsen-Prallplattenprinzip) schwierig und
35 regelungstechnisch aufwändig.

Verglichen mit Servoventilen ist die direkte Ansteuerung von stetigen Hydraulikventilen durch Betätigungseinrichtungen mit

Proportional- oder Regelmagneten (diese Hydraulikventile werden kurz Proportional- oder Regelventile genannt) oder von unstetigen Schaltventilen mit Magneten deutlich einfacher, weniger schmutzempfindlich, robuster und billiger. Nachteilig
5 daran ist jedoch, dass damit Hydraulikventile mit einem Durchfluss von 50 l/min bei einem Druckabfall von 5 bar und einer Schaltzeit < 10ms schwer realisierbar sind.

Außerdem sind im Stand der Technik Hydraulikventile bekannt,
10 die eine Betätigungseinrichtung mit einem piezoelektrischen Aktuator umfassen. Obwohl piezoelektrische Aktuatoren (z.B. Piezo-Keramiken) schnell reagieren und hohe Kräfte aufbringen können, ist daran nachteilig, dass diese nur geringste Hübe bzw. Auslenkungen realisieren können. Auch die Verwendung von
15 sogenannten Piezostacks, z.B. durch die Anordnung von mehreren piezoelektrischer Aktuatoren übereinander zur Realisierung größerer Hübe bzw. Auslenkungen, führt bei der praktischen Anwendung zu Problemen, zumal selbst diese Hübe für einen Steuerkolben im Normalfall nicht ausreichend sind.

20

Aus der Veröffentlichung

Alan Hitchcox „Piezo actuators: The future of servovalves?“, hydraulics & pneumatics, 2005 (siehe
25 <http://hydraulicspneumatics.com/200/TechZone/HydraulicValves/Article/False/12852/TechZone-HydraulicValves>)

ist ein Hydraulikventil mit einem piezoelektrischen Aktuator zur Ansteuerung eines Steuerkolbens bekannt. Wie der äußerst geringe Weg des piezoelektrischen Aktuators erhöht werden kann, geht aus der Veröffentlichung nicht hervor.

30

Auch aus der Veröffentlichung

Jörg Edler et al. „Investigation of a Servo Valve with a Piezoelectric Pilot Stage“, Fluid Power 2015
ist ein Servoventil mit einem piezoelektrischen Aktuator
35 bekannt. Bedingt durch die Servo-Vorstufe ist das Servoventil sehr komplex, schmutzempfindlich und teuer.

Aus der WO 99/58840 A1 ist ein Hydraulikventil mit einer Betätigungseinrichtung 5 bekannt, wobei das Hydraulikventil ein Gehäuse 1, einen axial verschiebbaren Steuerkolben 14 und eine Betätigungseinrichtung 5 umfasst. Die Betätigungs-
5 einrichtung 5 weist einen piezoelektrischen Aktuator 12, einen Druckkolben 11 mit einem Rückstellelement 13 und einer Dichtung 18 sowie eine mit einem Fluid 6 gefüllte Hydraulikkammer 2 auf. Durch den piezoelektrischen Aktuator 12 wird der Druckkolben 11 in axialer Richtung verschoben,
10 wobei dieser durch eine separate Dichtung 18 gegenüber dem Gehäuse 1 abgedichtet wird. Durch das Rückstellelement 13 wird der Druckkolben wieder in seine Ausgangslage zurückgebracht. Die Querschnittsfläche des Druckkolbens 11 ist größer als die Querschnittsfläche des Steuerkolbens 14,
15 sodass der Steuerkolben 14 weiter verschoben wird als sich der piezoelektrische Aktuator 12 ausdehnt. Nachteilig an dieser Lösung ist, dass der Druckkolben 11 schwer ist und dieser über eine separate Dichtung 18 abgedichtet werden muss. Da die Dichtung aufgrund der Reibung zwischen dem sich
20 bewegendem Druckkolben und dem Gehäuse ein dissipatives Element ist, wirkt sich dies negativ auf die Dynamik des Hydraulikventils aus. Außerdem sind die Massen des Druckkolbens 11 und des Steuerkolbens 14 hoch, was ebenfalls die Schnelligkeit des Hydraulikventils begrenzt. Die Dichtung 18
25 ist zudem einem Verschleiß unterworfen, was die Lebensdauer des Hydraulikventils herabsetzt. Wie die max. Dynamik des Hydraulikventils erhöht und dessen Zuverlässigkeit verbessert werden kann, geht aus der Schrift nicht hervor.

30 Aus der Veröffentlichung

HERAKOVIC N: "PIEZOAKTORBETÄTIGUNG FÜR EIN EINSTUFIGES HOCHDYNAMISCHES SERVOVENTIL", O&P - OELHYDRAULIK UND PNEUMATIK, Bd. 39, Nr. 8, 1. August 1995, Seiten 601-605
ist ein hydraulischer Wegübersetzer für ein piezoelektrisch
35 betätigtes Hydraulikventil bekannt. Da der Wegübersetzer eine Membran einsetzt, muss der max. Betriebsdruck des Hydraulikventils auf ca. 50 bar begrenzt werden. Somit ist

aber diese Lösung für Hydraulikventile im Mittel- oder Hochdruckbereich nicht geeignet.

5 Auch aus der US 6,062,532 ist ein Hydraulikventil bekannt, das einen hydraulischen Wegübersetzer mit einer Membran einsetzt. Auch diese Lösung ist aufgrund der Membran nicht für Hydraulikventile im Mittel- oder Hochdruckbereich geeignet.

10 Aus der DE 8801009 U1 ist ein Hydraulikventil mit einer Membran für den Einsatz im Sanitärbereich bekannt. Da der max. Betriebsdruck im Sanitärbereich nur wenige bar beträgt (siehe <http://www.ikz.de/ikz-praxis-archiv/p0405/040512.php>),
15 ist das Hydraulikventil nicht für den Mittel- oder Hochdruckbereich geeignet. Außerdem kann das Hydraulikventil keine schnellen Schaltzeiten ≤ 10 ms realisieren.

Somit stößt man mit den Hydraulikventilen nach dem Stand der Technik an Grenzen. Da für gewisse Anwendungen (z.B. zur
20 Ansteuerung eines Hydraulikventils zur Unterdrückung bzw. Kompensation von Chatterschwingungen in einem Walzwerk) jedoch nur schnelle Mittel- oder Hochdruck-Hydraulikventile mit einem Durchfluss ≥ 50 l/min bei einem Druckabfall von 5 bar und einer Schaltzeit ≤ 2 ms eingesetzt werden können,
25 müssen derzeit noch immer Servoventile mit einer Düsen-Prallplatten Betätigungseinrichtung verwendet werden und viele Nachteile bzgl. Preis, Schmutzempfindlichkeit und Nichtlinearität der Ansteuerung in Kauf genommen werden.

30 Zusammenfassend gibt es also einen Bedarf nach einem einfachen Hydraulikventil, das für einen Einsatz im Mittel- oder Hochdruckbereich geeignet ist, schnell (Schaltzeit ≤ 2 ms) reagieren kann, aber die vorgenannten Nachteile bzgl. Preis, Robustheit, Schmutzempfindlichkeit und Nichtlinearität
35 der Ansteuerung nicht aufweist.

Zusammenfassung der Erfindung

Die Aufgabe der Erfindung ist es, die Nachteile des Stands der Technik zu überwinden und ein schnelles Hydraulikventil für den Mittel- (Drücke zwischen 100 bis 200 bar) oder Hochdruckbereich (Drücke über 200 bis ca. 500 bar) mit einem
5 Durchfluss ≥ 50 l/min bei einem Druckabfall von ≤ 5 bar zu schaffen. Das Hydraulikventil soll eine Schaltzeit ≤ 2 ms aufweisen, sodass der Steuerkolben des Hydraulikventils innerhalb der Schaltzeit von einer ersten Endlage (z.B. einer geschlossenen Stellung) in eine zweite Endlage (z.B. einer
10 vollständig geöffneten Stellung) verschoben werden kann. Die Ansteuerung des Hydraulikventils soll sich im Vergleich mit Servoventilen wesentlich linearer verhalten. Außerdem soll das Hydraulikventil im Vergleich mit dem Stand der Technik einfacher, günstiger, robuster und schmutzunempfindlicher
15 sein.

Diese Aufgabe wird durch Hydraulikventil der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass die Betätigungseinrichtung des Hydraulikventils
20 - eine biegesteife Metallplatte, wobei ein äußerer Bereich der Metallplatte am Gehäuse ortsfest festgelegt ist;
- einen piezoelektrischen Aktuator, wobei der piezoelektrische Aktuator einen zentralen Bereich der Metallplatte durchbiegen kann; und
25 - einen im Betrieb mit der Druckflüssigkeit gefüllten Druckraum, wobei der Druckraum von dem Gehäuse, der Metallplatte und dem Steuerkolben begrenzt wird, wobei die Metallplatte den Druckraum abdichtet und der Druckraum den Steuerkolben beaufschlagt, und wobei eine
30 Fläche A_p der Metallplatte über dem Druckraum größer ist als die Querschnittsfläche A_K des Steuerkolbens, aufweist.

Unter die Erfindung sollen nur Hydraulikventile mit einem
35 Durchfluss größer oder gleich 50 l/min bei einem Druckabfall von kleiner oder gleich 5 bar und einer Schaltzeit kleiner oder gleich 2 ms fallen. Somit fallen Hydraulikventile mit einem Durchfluss < 50 l/min (z.B. Einspritzventile zum

Einspritzen eines Brennstoffs in einen Verbrennungsmotor) nicht unter den Schutzbereich der Erfindung, auch wenn diese eine Schaltzeit ≤ 2 ms aufweisen.

- 5 Das erfindungsgemäße Hydraulikventil mit der Betätigungseinrichtung löst die Aufgabe dadurch, dass ein piezoelektrischer Aktuator (kurz Piezoelement oder Piezo) den zentralen Bereich einer biegesteifen Metallplatte durchbiegen kann. Dazu wird
- 10 der piezoelektrische Aktuator, der vorzugsweise in-line mit der Symmetrieachse (bei einer kreisförmigen Metallplatte somit kollinear mit dem Mittelpunkt) der Metallplatte angeordnet ist, bestromt, sodass sich der Aktuator in axialer Richtung ausdehnt. Die Metallplatte trennt den Raum, in dem der Piezo angeordnet ist, von dem mit der Druckflüssigkeit
- 15 (z.B. ein Hydraulikfluid, ein Kühlmittel oder Wasser) gefüllten Druckraum und dichtet den Druckraum fluiddicht ab. Der Raum, in dem das Piezoelement selbst angeordnet ist, kann entweder mit Druckflüssigkeit gefüllt („nass“ genannt) oder „trocken“ sein. Durch das Durchbiegen der biegesteifen
- 20 Metallplatte werden Biegespannungen im elastischen Bereich der Metallplatte hervorgerufen und andererseits wird im Druckraum ein Druck p aufgebaut. Da der Druckraum den Steuerkolben beaufschlägt, wird der Steuerkolben durch die Kraft $F = p \cdot A_K$ verschoben, wobei A_K die Querschnittsfläche des Steuerkolbens ist. Um den Steuerkolben weiter als die
- 25 axiale Ausdehnung des Piezoelements zu verschieben, ist die Fläche A_P der Metallplatte über dem Druckraum größer als die Querschnittsfläche A_K des Steuerkolbens. Somit wird der Steuerkolben aufgrund der für den Druckraum geltenden
- 30 Volumenkonstanz quasi mit einer „hydraulischen Wegverstärkung“ verschoben. Der Faktor für diese hydraulische Wegverstärkung entspricht vereinfacht dem Verhältnis zwischen der Fläche A_P der Metallplatte über dem Druckraum und der Querschnittsfläche A_K des Steuerkolbens. Bei einem
- 35 Flächenverhältnis von z.B. 64 wird der Steuerkolben des Ventils etwa 64 mal so weit verschoben als sich das Piezoelement in axialer Richtung ausdehnt, d.h. es kommt eine „hydraulische Wegverstärkung“ von 64 zur Anwendung.

Zur Abstützung der Metallplatte ist der äußere Bereich der Metallplatte am Gehäuse ortsfest festgelegt. Somit sind am äußeren Bereich der Metallplatte zumindest die drei
5 Verschiebefreiheitsgrade (in einem Zylinderkoordinatensystem sind das die radiale, die tangentiale und die axiale Verschiebung) gesperrt. Bei einer Einspannung der Metallplatte sind zusätzlich die Verdrehungsfreiheitsgrade gesperrt. Bevorzugt ist, wenn der gesamte Umfang des äußeren
10 Bereichs der Metallplatte ortsfest festgelegt ist und sich der Bereich innerhalb des äußeren Bereichs der Metallplatte frei durchbiegen kann.

Bei der biegesteifen Metallplatte handelt es im Sinne der
15 Technischen Mechanik um eine biegesteife metallische Platte, d.h. um ein „flaches“ plattenförmiges mechanisches Element, das eine signifikant hohe (d.h. nicht zu vernachlässigende) Biegesteifigkeit aufweist. Wird eine Platte gebogen, stellt sich ein Biegespannungszustand ein. Die Biegespannungen in
20 der Platte sind bekanntlich nicht über die Dicke der Platte konstant, da es unter anderem eine Zug-, eine Druck- und eine neutrale Faser gibt. Im Gegensatz dazu ist die Biegesteifigkeit einer Membran vernachlässigbar klein. Eine Membran kann keine Biegebeanspruchung aufnehmen und die Spannungen werden
25 über die Dicke der Membran als konstant angenommen. Die Technische Mechanik spricht in diesem Fall von einem Membranspannungszustand. Bei der Metallplatte gemäß der Erfindung handelt es sich aber gerade um keine Membran, da diese die während des Betriebs im Druckraum auftretenden hohen
30 hydraulischen Drücke nicht dauerhaft aushalten würde.

Das erfindungsgemäße Hydraulikventil weist nur wenige bewegte Teile auf und ist daher einfach und kostengünstig. Da das Hydraulikventil bewusst enge Spalte vermeidet, ist es auch
35 schmutzunempfindlich und robust. Durch die Verwendung einer Metallplatte anstelle einer Membran kann das Hydraulikventil uneingeschränkt im Mittel- oder Hochdruckbereich verwendet werden. Außerdem kann der Steuerkolben einfach und leicht

ausgebildet werden, was niedrige Schaltzeiten ≤ 2 ms und eine hohe Dynamik ermöglicht. Ein separater Druckkolben wie in der WO 99/58840 wird nicht benötigt. Außerdem reduziert eine druckdichte Festlegung (z.B. eine Einspannung) der

5 Metallplatte oder eine zusätzliche Dichtung zwischen dem äußeren Bereich der Metallplatte und dem Gehäuse zur Abdichtung des Druckraums die Dynamik des Hydraulikventils nicht. Da sich sowohl der piezoelektrische Aktuator als auch die Metallplatte stark linear verhalten, verhält sich das

10 Hydraulikventil wesentlich linearer als vergleichbar schnelle Servoventile.

Vorzugsweise ist die Metallplatte einstückig ausgeführt, da so keine Abdichtung innerhalb der Metallplatte notwendig ist.

15 Zur Erzielung großer Verschiebungen des Steuerkolbens ist es vorteilhaft, wenn die Fläche der Metallplatte über dem Druckraum A_p mindestens 4-mal, mindestens 16-mal, mindestens 36-mal, oder mindestens 64-mal größer als die

20 Querschnittsfläche des Steuerkolbens A_k ist. Auch noch größere Flächenverhältnisse sind problemlos realisierbar und werden nur durch die max. Kraft des Piezos begrenzt.

Der piezoelektrische Aktuator kann z.B. als ein

25 piezoelektrischer Stack ausgebildet sein, wodurch die Verschiebung des Steuerkolbens weiter erhöht wird.

Insbesondere aus steuerungs- oder regelungstechnischen Gründen ist es vorteilhaft, wenn der piezoelektrische

30 Aktuator ein Wegmesssystem zur Messung einer Ausdehnung des piezoelektrische Aktuators in axialer Richtung x aufweist. Hierbei kann die Wegmessung entweder bereits in das Piezoelement integriert sein oder durch ein externes Wegmesssystem erfolgen.

35 Günstig ist es, wenn die Metallplatte im zentralen Bereich dicker als im äußeren Bereich ist. Dadurch verhält sich die Metallplatte im äußeren Bereich biegeweicher als im zentralen

Bereich, sodass die Kraft für das Durchbiegen der Metallplatte abgesenkt wird. Andererseits sorgt ein dickerer zentraler Bereich dafür, dass die Durchbiegung der Metallplatte durch das Piezoelement über einen weiten Bereich
5 relativ konstant gehalten wird.

Eine lange Lebensdauer der Metallplatte bzw. der Betätigungseinrichtung wird erreicht, wenn die Metallplatte aus Stahl, vorzugsweise Federstahl, besteht.

10

Bei einer gegebenen Kraft wird eine hohe Durchbiegung erreicht, wenn die Metallplatte rund, vorzugsweise kreisrund, ausgeführt ist.

15 Die Stellung des Steuerkolbens in den sogenannten Endlagen kann einfach dadurch festgelegt werden, wenn der zentrale Bereich der Metallplatte einen Haltemagneten aufweist. Durch den Haltemagneten – vorzugsweise ein Permanentmagnet, aber auch ein Elektromagnet wäre möglich – wird die Stellung eines
20 ferromagnetischen Steuerkolbens in einer Endlage weitgehend unabhängig von Strömungskräften festgelegt. Diese Ausführungsform trägt einerseits zur Energieeinsparung bei, da das Piezoelement nur bei einem Zustandswechsel (z.B. beim Übergang von einer Endlage in eine andere Endlage) bestromt
25 werden muss. Der Steuerkolben verhält sich in den Endlagen somit bistabil. Andererseits kann dadurch auch der Piezo kleiner und kompakter ausgeführt werden, da er nicht ständig bestromt werden muss.

30 Der Druckraum kann sehr leakagearm bzw. völlig leakagefrei abgedichtet werden, wenn eine fluiddichte Dichtung zwischen dem äußeren Bereich der Metallplatte und dem Gehäuse vorhanden ist. Im Gegensatz zur Abdichtung des Druckkolbens
11 mittels der Dichtung 18 bei der WO 99/58840 A1, bewirkt
35 die Dichtung am äußeren Bereich der Metallplatte keine Reduktion der Dynamik, da der äußere Bereich der Metallplatte im Bereich der Dichtung ortsfest festgelegt ist.

Zum Ausgleich von Leckagen im Druckraum und zum Druckausgleich zwischen dem Druckraum und der Druckversorgung ist es besonders vorteilhaft, wenn eine Leitung, die vorzugsweise eine Blende aufweist, den Druckraum mit einer Druckversorgung (z.B. für einen Steuerdruck p_s oder einen Systemdruck p) verbindet. Vorteilhaft an einer separaten Druckversorgung mit einem Steuerdruck p_s ist, dass der Steuerdruck stabiler als der Systemdruck p ist und der Steuerdruck $p_s < p$ als das Maximum des Systemdrucks p ist.

Wie bereits oben angeführt, ist das erfindungsgemäße Hydraulikventil nicht auf die hydraulische Antriebstechnik eingeschränkt. Vielmehr können die Hydraulikventile auch in metallurgischen Anlagen, z.B. Walzwerken, Stranggießanlagen... eingesetzt werden, wobei ein Metall (z.B. ein Stahlstrang mit Brammenformat, oder ein Vor- oder Fertigstreifen) durch Kühldüsen gekühlt wird. Die Einstellung des Durchflusses bzw. des Drucks der Druckflüssigkeit durch eine oder mehrere Kühldüsen kann durch ein Hydraulikventil erfolgen.

Zur Fixierung des Steuerkolbens in einer Endlage ist es zweckmäßig, wenn der Steuerkolben aus Stahl, vorzugsweise aus einem ferromagnetischen Stahl, besteht. Diese Ausführungsform ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn der zentrale Bereich der Metallplatte einen Haltemagneten aufweist.

Ein „Ankleben“ der Stirnfläche des Steuerkolbens an der Metallplatte kann verhindert werden, wenn die Stirnfläche des Steuerkolbens eine Bombierung aufweist. Auch dadurch wird die Dynamik des Hydraulikventils erhöht.

Eine einfache Konstruktion des Hydraulikventils wird erreicht, wenn das Gehäuse einen Ventilblock und einen Deckel aufweist, wobei der Deckel lösbar mit dem Ventilblock verbunden ist und sich der piezoelektrische Aktuator am Deckel abstützt. Die Metallplatte kann zwischen dem Gehäuse und dem Deckel eingespannt werden. Dadurch wird auch die Wartungsfreundlichkeit des Hydraulikventils verbessert.

Zur Regelung der Position des Steuerkolbens ist es günstig, wenn der Ventilblock ein Wegmesssystem zur Messung einer Position des Steuerkolbens aufweist. Somit kann auf externe Wegmesssysteme außerhalb des Ventilblocks verzichtet werden.
5 Für eine hohe Dynamik ist es vorteilhaft, wenn das Wegmesssystem berührungslos arbeitet.

Eine einfache und effektive Ansteuerung des Hydraulikventils wird erreicht, wenn ein Verstärker ein Steuersignal verstärkt und zumindest einen Aktuator mit dem verstärkten Steuersignal bestromt.
10

Eine einfache und effektive Ansteuerung des Hydraulikventils mit einem Regler und einem Verstärker wird erreicht, wenn der Regler ein Stellgrößensignal u in Abhängigkeit einer Differenz zwischen einer Soll-Position und einer Ist-Position des Steuerkolbens berechnet, und der Verstärker zumindest einen Aktuator mit dem verstärkten Stellgrößensignal
15
20 bestromt.

In beiden Fällen wird das Steuer- bzw. Stellgrößensignal durch einen Verstärker verstärkt und so die empfindliche Steuerung/Regelung vom Leistungsteil des Aktuators getrennt.
25

Insbesondere bei der Regelung kann durch das Bestromen des Piezoelements zudem die zeitliche Ausdehnung des Aktuators gezielt eingestellt werden. Möglich sind hier nicht nur das Aufschalten eines Sprungs, was entsprechend der Dynamik des Piezoelements zu einer raschen axialen Ausdehnung des
30 Piezoelements führt, sondern beliebige Verläufe, wie z.B. rampenförmige, trapezförmige, sinusförmige Verläufe etc.

Für viele Hydraulikventile, z.B. für ein 3/2 Wege Schalt- oder Stetigventil oder für ein 4/3 Wege Schalt- oder Stetigventil, ist es zweckmäßig, wenn das Hydraulikventil zwei Betätigungseinrichtungen aufweist, sodass die beiden Enden des Steuerkolbens jeweils von einer Betätigungseinrichtung
35

betätigt werden. Diese Ausführungsform ist auch deswegen vorteilhaft, da für die Rückstellung des Steuerkolbens keine mechanische Feder nötig ist. Mechanische Federn erscheinen zwar auf den ersten Blick einfach; sie sind aber einem Verschleiß unterworfen und weisen bei größeren Federwegen ausgeprägte Nichtlinearitäten auf (z.B. Tellerfedern). Durch diese Ausführung kann wiederum der Steuerkolben kleiner und leichter ausgeführt werden, was die Dynamik des Hydraulikventils verbessert.

10

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Weitere Vorteile und Merkmale der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung nicht einschränkender Ausführungsbeispiele, wobei die folgenden Figuren zeigen:

15

Fig 1 einen Längsschnitt durch ein Hydraulikventil mit einer Betätigungseinrichtung und einer Feder

20

Fig 2 einen Viertelschnitt durch eine erste Alternative des Hydraulikventils mit einer Betätigungseinrichtung mit einem Haltemagneten

25

Fig 2a und Fig 2b je eine Darstellung der Funktionsweise der Betätigungseinrichtung des Hydraulikventils

Fig 3 einen Längsschnitt durch ein Hydraulikventil mit zwei Betätigungseinrichtungen

30

Fig 4 eine schematische Darstellung der Spulen einer Wegmessenrichtung für den Steuerkolben eines Hydraulikventils

Fig 5 eine Darstellung der Ansteuerung eines piezoelektrischen Aktuators

35

Fig 6 eine Darstellung der Regelung der axialen Ausdehnung eines piezoelektrischen Aktuators

Fig 7 eine Darstellung der Regelung der Position eines Steuerkolbens eines Hydraulikventils mit zwei Betätigungseinrichtungen

5

Fig 8 ein Halbschnitt durch ein Hydraulikventil mit zwei Varianten einer Betätigungseinrichtung

Beschreibung der Ausführungsformen

10

Die Fig 1 zeigt ein 3/2-Wege (die Zahl vor dem Schrägstrich steht für die Anzahl der Anschlüsse und die Zahl hinter dem Schrägstrich für die Anzahl der Stellungen des Hydraulikventils) Hydraulikventil 3 mit einer Betätigungseinrichtung 1, das auf der linken Seite der Figur angeordnet ist. Das Hydraulikventil 3 arbeitet als Schaltventil und weist einen Steuerkolben 2 auf, der in einer Bohrung im Ventilblock 4a des Gehäuses 4 verschiebbar geführt ist. Je nach der Stellung des Steuerkolbens 2 wird der Druckanschluss p des Ventils 3 entweder mit dem Verbraucheranschluss A oder B verbunden. Der Steuerkolben 2 wird einerseits durch die Betätigungseinrichtung 1 und andererseits durch eine Feder 14 beaufschlagt. Die Betätigungseinrichtung 1 weist eine kreisförmige biegesteife Metallplatte 5 aus Federstahl auf, die zwischen dem Ventilblock 4a und dem Deckel 4b des Gehäuses 4 eingespannt ist. Beide Teile des Gehäuses 4 sind durch Schraubenverbindungen 15 lösbar miteinander verbunden, sodass der piezoelektrische Aktuator 6 (kurz Piezo) die Metallplatte 5 oder auch die gesamte Betätigungseinrichtung 1 einfach ausgetauscht werden können. Auf der linken Seite der Metallplatte 5 ist ein als Piezostack 6a ausgeführter Piezo 6 angeordnet, sodass der zentrale Bereich der Metallplatte 5 durch den Piezo durchgebogen werden kann. Da die Metallplatte 5 im äußeren Bereich dünner als im zentralen Bereich ist, wird die benötigte Kraft zum Durchbiegen der Metallplatte niedrig gehalten. Auf der rechten Seite der Metallplatte 5 befindet sich ein Druckraum 7. Durch das Bestromen des piezoelektrischen Aktuators 6 dehnt sich dieser in axialer

35

Richtung x aus und biegt den zentralen Bereich der Metallplatte 5 durch. Da der Druckraum 7 mit einer Druckflüssigkeit (hier Hydrauliköl) gefüllt ist, steigt durch das Durchbiegen der Metallplatte 5, welche eine Biegelinie beschreibt, der Druck p im Druckraum 7 an. Die linke Seite des Druckraums 7 wird von der Metallplatte 5 und einer Dichtung 9, die sich zwischen der Metallplatte 5 und dem Ventilblock 4a befindet, fluiddicht abgedichtet. Die anderen Seiten des Druckraums 7 werden durch den Ventilblock 4a des Gehäuses 4 druckdicht abgedichtet. Da der Druckraum 7 die Stirnfläche des Steuerkolbens 2 beaufschlägt, wird der Steuerkolben 2 mit der Kraft $F = p \cdot A_K$, wobei A_K die Querschnittsfläche des Steuerkolbens ist, in Richtung der Feder 14 verdrängt. Durch das Verschieben des Steuerkolbens 2 wird der Druckanschluss p des Hydraulikventils 3 mit dem Anschluss B verbunden. Nachdem das Bestromen des piezoelektrischen Aktuators 6 beendet wird, wird der Steuerkolben 2 durch die Druckfeder 14 wieder nach links verschoben, sodass der Anschluss p wieder mit dem Anschluss A des Hydraulikventils verbunden ist.

Gemäß der Darstellung von Fig 1 beträgt das Verhältnis zwischen der Fläche A_P der Metallplatte 5 über dem Druckraum 7 zur Querschnittsfläche A_K des Steuerkolbens 2 ca. 225. Durch die erfindungsgemäße Betätigungseinrichtung 1 kann somit eine Längenänderung des piezoelektrischen Aktuators 6 von bspw. 60 µm auf einfache Art und Weise den Steuerkolben 2 um ca. 10 mm verschieben. Von großem Vorteil ist, dass die „Wegverstärkung“ rein hydraulisch funktioniert und die Betätigungseinrichtung 1 bis auf die Metallplatte 5 und den Aktuator 6 keine bewegten Teile aufweist. Daher ist das Hydraulikventil 3 mit der Betätigungseinrichtung 1 sehr einfach, zuverlässig und zudem wenig schmutzempfindlich. Das Bewegen eines Steuerkolbens 2 gegenüber einer Feder 14 ist dem Fachmann aus einer Vielzahl von Ventiltypen bekannt, sodass auf eine detaillierte Erläuterung der rechten Seite des Hydraulikventils 3 von Fig 1 verzichtet werden kann. Im Vergleich mit dem Stand der Technik sind die bewegten Massen

äußerst niedrig, sodass problemlos eine Schaltzeit von < 2 ms erreicht werden kann.

In Fig 2 ist ein Viertelschnitt durch ein Hydraulikventil 3 mit einer weiteren Betätigungseinrichtung 1 dargestellt. Die Ausführungsform der Fig 2 weist zusätzlich zu der Betätigungseinrichtung 1 von Fig 1 einen Steuerkolben 2 mit einer Bombierung 10 der Stirnfläche auf. Damit wird das sogenannte „Ankleben“ des Steuerkolbens 2 an der Metallplatte 5 verhindert. Außerdem weist der zentrale Bereich der Metallplatte 5 einen permanentmagnetischen Haltemagneten 8 auf, der den ferromagnetischen Steuerkolben 2 aus Stahl in einer Endlage halten kann. Weiters dargestellt sind der Radius r_K des zylindrischen Steuerkolbens 2 und der Radius r_P der kreisrunden Metallplatte 5 über dem Druckraum 7, wobei gilt $A_K = r_K^2 \cdot \pi$ und $A_P = r_P^2 \cdot \pi$. Die Metallplatte 5 weist eine Ausrundung r zwischen dem dickeren und dem dünneren Teil auf, wodurch die Betriebsfestigkeit der Metallplatte 5 erhöht wird.

In den Fig 2a und 2b ist die Funktionsweise des erfindungsgemäßen Hydraulikventils mit der Betätigungseinrichtung 1 vereinfacht dargestellt. In Fig 2a befindet sich der Piezo 6 im Ruhezustand, die Metallplatte 5 ist nicht durchgebogen und auch der Steuerkolben 2 befindet sich in einer Anfangsstellung. Hingegen ist in Fig 2b der Piezo 6 in axialer Richtung x ausgefahren und bewirkt eine Durchbiegung der Metallplatte 5. Die Durchbiegung der Metallplatte bewirkt eine Erhöhung des Drucks p im Druckraum $7'$, sodass der Steuerkolben 2 durch die Verdrängung nach rechts verschoben wird. Nach kurzer Zeit sind die Druckräume 7 und $7'$ gleich groß, sodass sich der Steuerkolben 2 in Fig 2b weiter rechts befindet als in Fig 2a.

Die Fig 3 zeigt einen schematischen Längsschnitt durch ein nichtstetiges 3/2-Wege Hydraulikventil 3 mit zwei Betätigungseinrichtungen 1a, 1b. Der konstruktive Aufbau der Betätigungseinrichtungen 1a, 1b ist sehr ähnlich zum Aufbau

von Fig 2, jedoch wird der Steuerkolben von den beiden Betätigungseinrichtungen beaufschlagt und von den beiden Haltemagneten 8 in den jeweiligen Endlagen gehalten. Somit wird ein äußerst schnelles Schaltventil geschaffen. Um
5 insbesondere im schnellschaltenden Betrieb des Hydraulikventils 3 stets eine vollständige Füllung der Druckräume 7 sicherzustellen, sind die Druckräume 7 über eine Leitung mit einem Steuerdruckanschluss p_s verbunden, der über eine enge Blende bzw. Drossel 18 etwaige Leckagen aus dem Druckraum 7
10 wieder ausgleicht. Alternativ dazu können – so wie strichliert dargestellt – auch Stichleitungen vom Druckanschluss p zu den Druckräumen 7 führen.

Die Fig 4 zeigt schematisch die Spulen eines Wegmesssystems
15 11 zur Bestimmung der Ist-Position s_{Ist} des Steuerkolbens 2. Der Steuerkolben 2 ist magnetisch (z.B. aus Stahl mit einem ferritischen Gefüge), weist jedoch auch mind. einen nicht-magnetischen Teil 20 auf. Durch die zwei – eine Differentialdrossel bildenden – Spulen 19a, 19b kann die
20 Position s_{Ist} des Steuerkolbens 2 durch eine hier nicht weiter dargestellte Auswerteelektronik (siehe z.B. Fig 7) für induktive Wegaufnehmer bestimmt werden. Auswerteelektroniken für induktive Wegaufnehmer sind dem Fachmann bekannt, siehe z.B. <http://www.lvdt.de>.

25 Die Fig 5 zeigt schematisch eine Steuerung 12 für einen als Piezostack 6a ausgeführten piezoelektrischen Aktuator 6 einer Betätigungseinrichtung 1. Das Steuersignal S – hier einfach Pulse – wird vom Verstärker 16 entsprechend der Signalform
30 verstärkt und das verstärkte Steuersignal S^* als Spannungssignal dem Piezostack 6a zugeführt. Der Piezostack 6a dehnt sich in Abhängigkeit des Steuersignals S in axialer Richtung x aus und biegt eine hier nicht dargestellte Metallplatte 5 der Betätigungseinrichtung 1 durch, was zu
35 einer Verschiebung eines Steuerkolbens 2 führt.

Die Fig 6 zeigt schematisch eine Regelung für einen als Piezostack 6a ausgeführten Piezoaktuator 6 einer

Betätigungseinrichtung 1. Das Sollsignal s_{Soll} für die Ausdehnung des Piezoaktuators 6 – hier wieder Pulse – wird einem Regler 13 zugeführt, der in Abhängigkeit der Differenz zwischen der Ist-Ausdehnung s_{Ist} des Piezoaktuators 6 und dem Sollsignal s_{Soll} eine Stellgröße u berechnet. Die Stellgröße u wird vom Verstärker 16 verstärkt und das verstärkte Signal u^* als Spannungssignal dem Piezostack 6a zugeführt. Die Fig 6 zeigt somit eine einfache Positionsregelung für die Ausdehnung des Piezoaktuators 6.

Fig 7 zeigt schematisch eine Positionsregelung für die Position eines Steuerkolbens 2 in einem Hydraulikventil 3 mit zwei Betätigungseinrichtungen 1a, 1b. Über die beiden Spulen der Wegmesseinrichtung 11 (Aufbau siehe Fig 4) wird die Position s_{Ist} des Steuerkolbens 2 bestimmt. Die Ist-Position des Steuerkolbens s_{Ist} und dessen Soll-Position s_{Soll} werden einem Regler 13 zugeführt, der in Abhängigkeit der Differenz zwischen s_{Soll} und s_{Ist} zwei Stellgrößen u_1 , u_2 berechnet. Die Stellgrößen werden vom Verstärker 16 verstärkt und die verstärkten Signale u_1^* , u_2^* als Spannungssignale den Piezostacks 6a der beiden Betätigungseinrichtungen 1a, 1b zugeführt. Somit gibt die Fig 7 eine einfache Regelung für die Position des Steuerkolbens 2 eines Hydraulikventils 3 mittels zweier Betätigungseinrichtung 1a, 1b an.

Die Fig 8 zeigt einen Halbschnitt durch zwei Varianten einer Betätigungseinrichtung 1, die jeweils oberhalb und unterhalb der horizontalen Symmetrieachse dargestellt sind. Um die notwendige Kraft für den piezoelektrischen Aktuator 6 zur Durchbiegung der Metallplatte 5 zu reduzieren, ist in beiden Varianten die Metallplatte 5 gelenkig gelagert und der Aktuator „nass“ ausgeführt. Die untere Variante der Betätigungseinrichtung 1 ist nicht erfindungsgemäß ausgeführt, da die Metallplatte 5 am Gehäuse 4a, 4b nicht ortsfest festgelegt ist.

Bei der oberen Variante liegt die Metallplatte 5 auf je einer Erhebung im Ventilblock 4a und im Deckel 4b auf und ist über zwei elastische Dichtungen 9 abgedichtet. Außerdem sind der

Druckraum 7 und der Raum, in dem sich der piezoelektrische Aktuator 6 bzw. der Piezostack 6a befindet, über mehrere Leitungen mit Blenden bzw. Drosseln 18 mit einem Steuerdruckanschluss p_s verbunden. Somit gleicht sich der statische Druck links und rechts der Metallplatte 5 aus, sodass die Metallplatte 5 entlastet wird. Das Durchbiegen der Metallplatte 5 durch den piezoelektrischen Aktuator 6 bzw. den Piezostack 6a führt wiederum zu einem Druckanstieg im Druckraum 7, welcher den Steuerkolben 2 verschiebt.

Bei der unteren Variante liegt die Metallplatte auf einer steifen Dichtung 9 auf, was ebenfalls einer gelenkigen Lagerung der Metallplatte 5 entspricht.

Obwohl die Erfindung im Detail durch die bevorzugten Ausführungsbeispiele näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

1, 1a, 1b	Betätigungseinrichtung
2	Steuerkolben
3	Hydraulikventil
4	Gehäuse
4a	Ventilblock
4b	Deckel
5	Metallplatte
6	piezoelektrischer Aktuator
6a	Piezostack
7, 7'	Druckraum
8	Haltemagnet
9	Dichtung
10	Bombierung
11	Wegmesssystem
12	Steuerung
13	Regler
14	Feder
15	Schraubenverbindung
16	Verstärker
18	Blende
19a, 19b	Spule
20	Nicht magnetischer Teil des Steuerkolbens
A	Verbraucheranschluss A des Hydraulikventils
B	Verbraucheranschluss B des Hydraulikventils
p	Druckanschluss p des Hydraulikventils
p _s	Steuerdruckanschluss des Hydraulikventils
r	Radius
r _K	Radius des Steuerkolbens
r _P	Radius der Metallplatte über dem Druckraum
S	Steuersignal
S*	verstärktes Steuersignal
S _{Ist}	Ist-Position
S _{Soll}	Soll-Position
u, u ₁ , u ₂	Stellgröße
u*, u ₁ *, u ₂ *	verstärktes Stellgrößensignal
x	axiale Richtung

Ansprüche

1. Hydraulikventil (3) mit einer Betätigungseinrichtung (1, 1a, 1b) für einen Steuerkolben (2), wobei das Hydraulikventil
- 5 (3)
- ein Gehäuse (4);
 - den Steuerkolben (2) mit einer Querschnittsfläche A_K , wobei der Steuerkolben (2) im Gehäuse (4) in axialer Richtung verschiebbar ist und durch das Verschieben des

10 Steuerkolbens (2) ein Durchfluss einer Druckflüssigkeit einstellbar ist; und

 - zumindest eine Betätigungseinrichtung (1, 1a, 1b) zum Verschieben des Steuerkolbens umfasst, wobei die Betätigungseinrichtung aufweist

15 - eine biegesteife Metallplatte (5), wobei ein äußerer Bereich der Metallplatte (5) am Gehäuse (4) ortsfest festgelegt ist;

 - einen piezoelektrischen Aktuator (6), wobei der piezoelektrische Aktuator (6) einen zentralen Bereich

20 der Metallplatte (5) durchbiegen kann; und

 - einen im Betrieb mit der Druckflüssigkeit gefüllten Druckraum (7),
 - o wobei der Druckraum (7) von dem Gehäuse (4), der Metallplatte (5) und dem Steuerkolben (2) begrenzt

25 wird,

 - o wobei die Metallplatte (5) den Druckraum (7) abdichtet und der Druckraum (7) den Steuerkolben (2) beaufschlagt, und
 - o wobei eine Fläche A_P der Metallplatte (5) über dem

30 Druckraum (7) größer ist als die Querschnittsfläche A_K des Steuerkolbens (2).

2. Hydraulikventil (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fläche A_P der Metallplatte (5) über
- 35 dem Druckraum (7) mindestens 4-mal, mindestens 16-mal, mindestens 36-mal, oder mindestens 64-mal größer als die Querschnittsfläche A_K des Steuerkolbens (2) ist.

3. Hydraulikventil (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der piezoelektrische Aktuator (6) ein Wegmesssystem zur Messung einer Ausdehnung des piezoelektrischen Aktuators (6) in axialer Richtung x aufweist.

4. Hydraulikventil (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein zentraler Bereich der Metallplatte (5) dicker ist als ein äußerer Bereich.

5. Hydraulikventil (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metallplatte (5) aus Stahl, vorzugsweise Federstahl, besteht.

6. Hydraulikventil (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Metallplatte (5) rund, vorzugsweise kreisrund, ist.

7. Hydraulikventil (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zentrale Bereich der Metallplatte (5) einen Haltemagneten aufweist.

8. Hydraulikventil (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine fluiddichte Dichtung (9) zwischen dem äußeren Bereich der Metallplatte (5) und dem Gehäuse (4, 4a) vorhanden ist.

9. Hydraulikventil (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Druckraum (7) von einer Leitung, die vorzugsweise eine Blende aufweist, mit der Druckflüssigkeit unter Druck (p, pS) versorgt wird.

10. Hydraulikventil (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Steuerkolben (2) aus Stahl, vorzugsweise aus ferromagnetischem Stahl, besteht.

11. Hydraulikventil (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stirnfläche des Steuerkolbens (2) eine Bombierung aufweist.
- 5 12. Hydraulikventil (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gehäuse (4) einen Ventilblock (4a) und einen Deckel (4b) aufweist, wobei der Deckel (4b) lösbar mit dem Ventilblock (4a) verbunden ist und sich der piezoelektrische Aktuator (6) am Deckel (4b)
10 abstützt.
13. Hydraulikventil nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ventilblock (4a) ein, vorzugsweise berührungsloses, Wegmesssystem zur Messung einer Position des Steuerkolbens
15 (2) aufweist.
14. Hydraulikventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche 12 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Verstärker (16) ein Steuersignal (S) verstärkt und den piezoelektrischen
20 Aktuator (6) mit dem verstärkten Steuersignal (S*) bestromt.
15. Hydraulikventil nach Anspruch 14 mit einem Regler (13) und einem Verstärker (16), **dadurch gekennzeichnet, dass** der Regler (13) ein Stellgrößensignal u in Abhängigkeit einer
25 Differenz zwischen einer Soll-Position und einer Ist-Position des Steuerkolbens berechnet, und der Verstärker (16) zumindest einen piezoelektrischen Aktuator (6) mit dem verstärkten Stellgrößensignal bestromt.
- 30 16. Hydraulikventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** zwei Betätigungseinrichtungen (1a, 1b), sodass die beiden Enden des Steuerkolbens (2) jeweils von einer Betätigungseinrichtung (1a, 1b) betätigt werden.

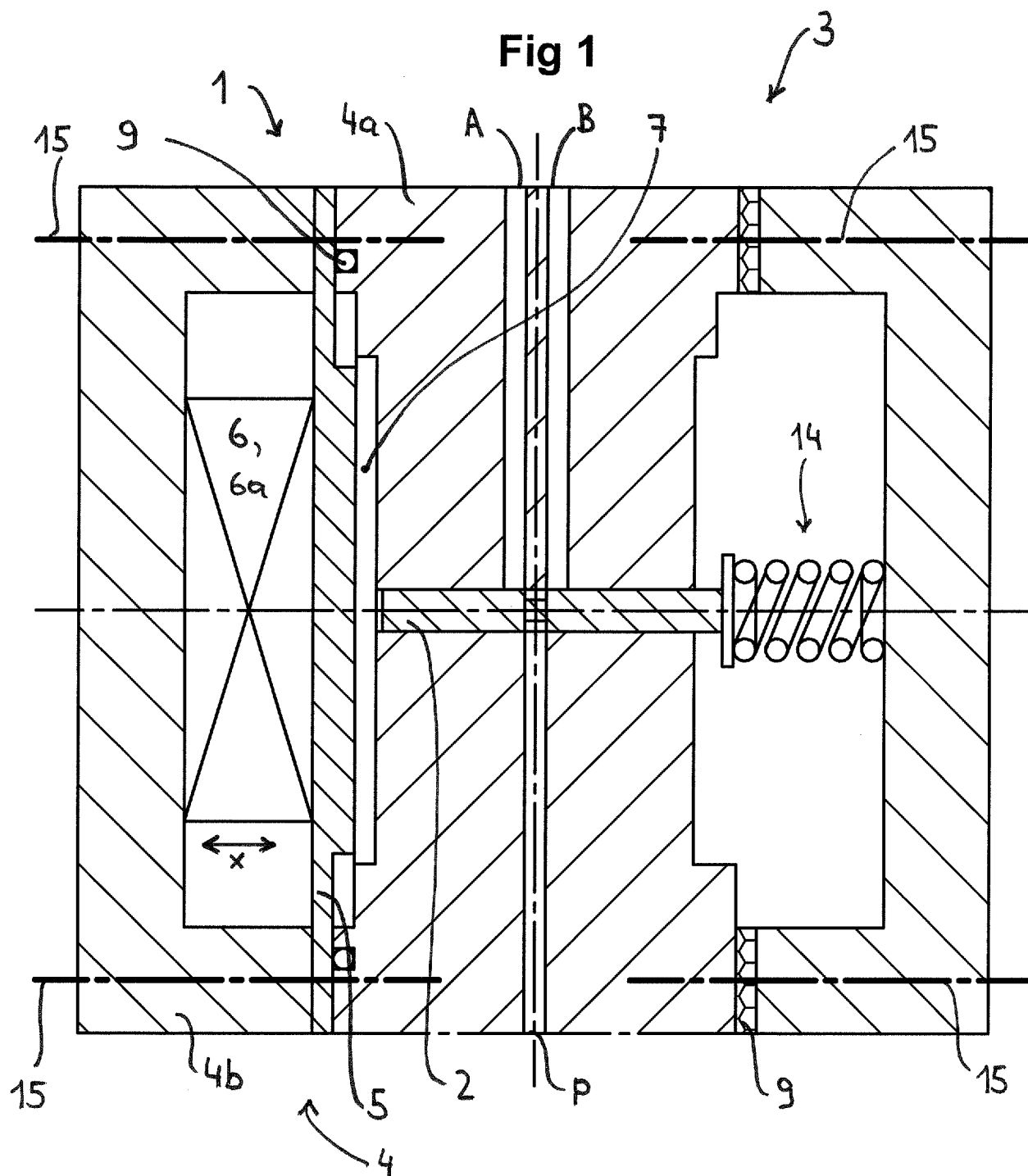


Fig 2

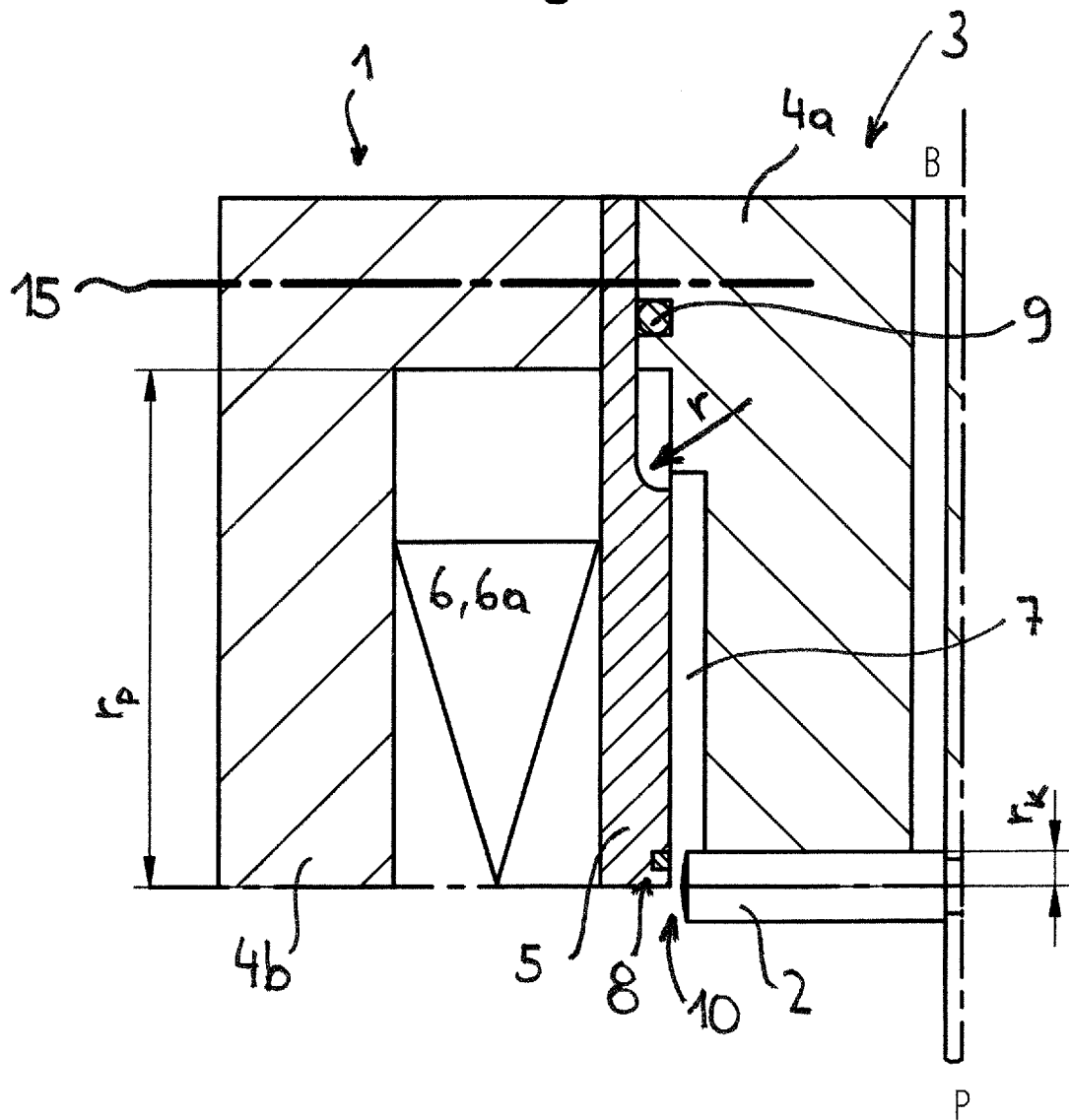


Fig 2a

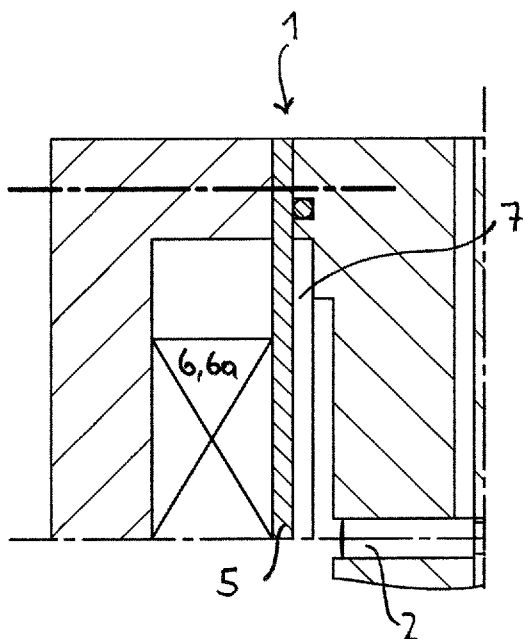


Fig 2b

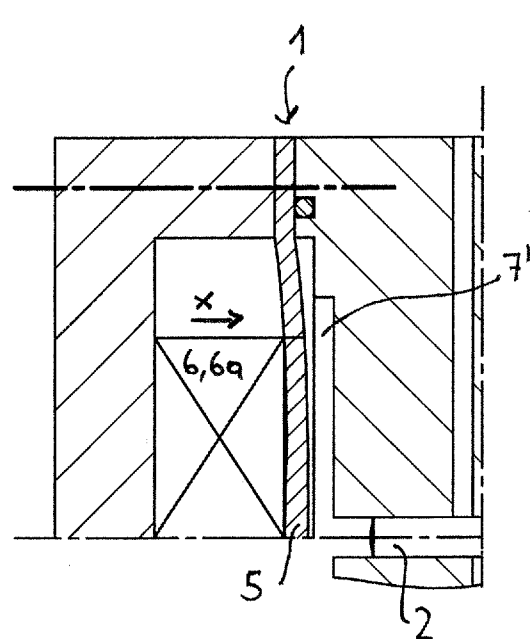


Fig 4

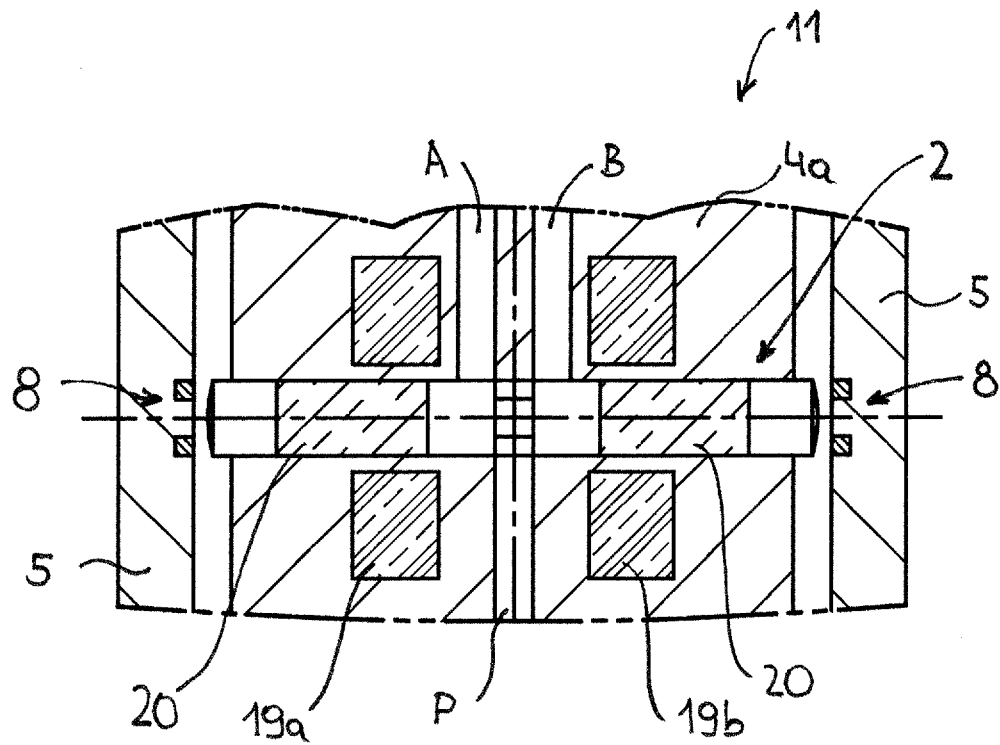


Fig 5

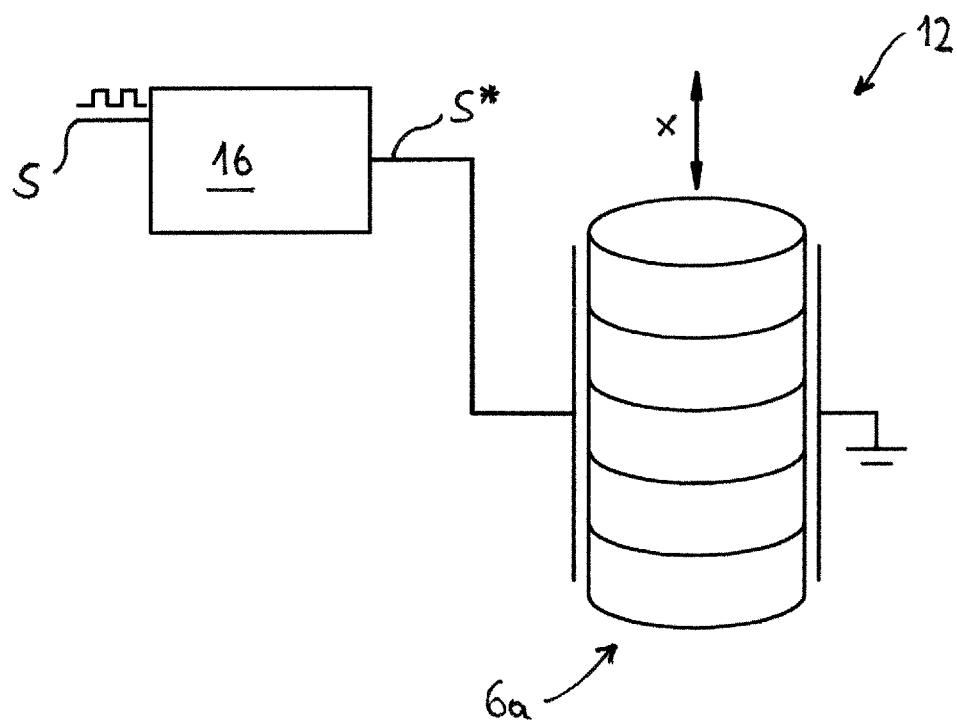


Fig 6

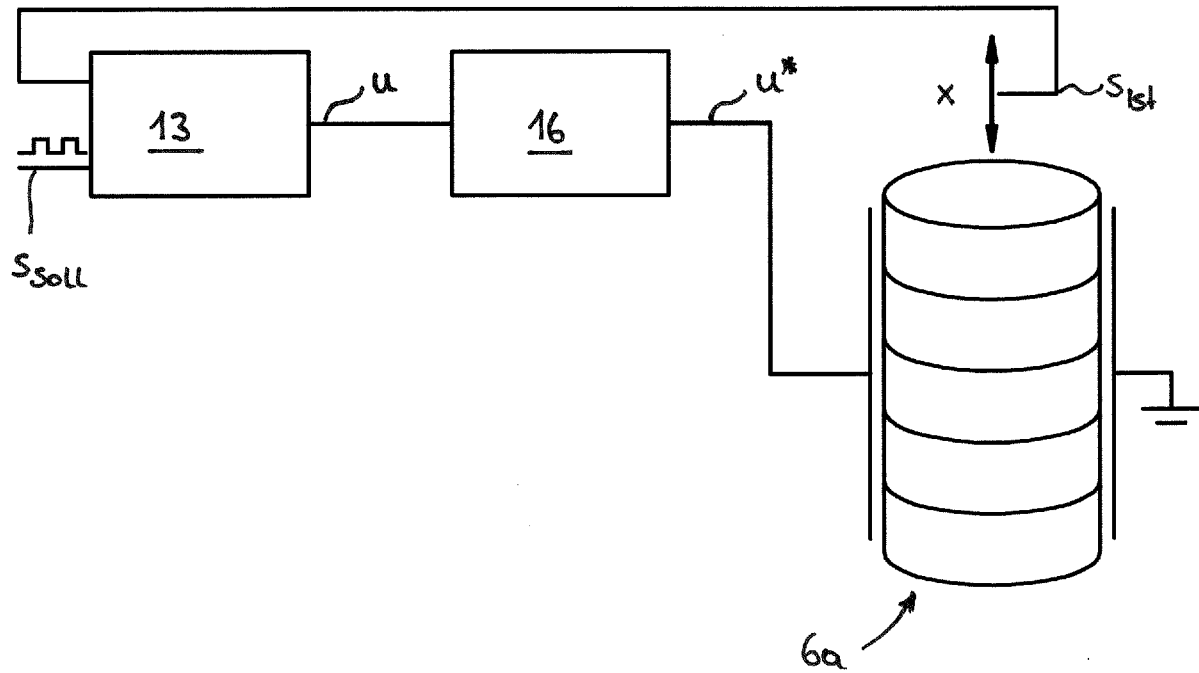


Fig 7

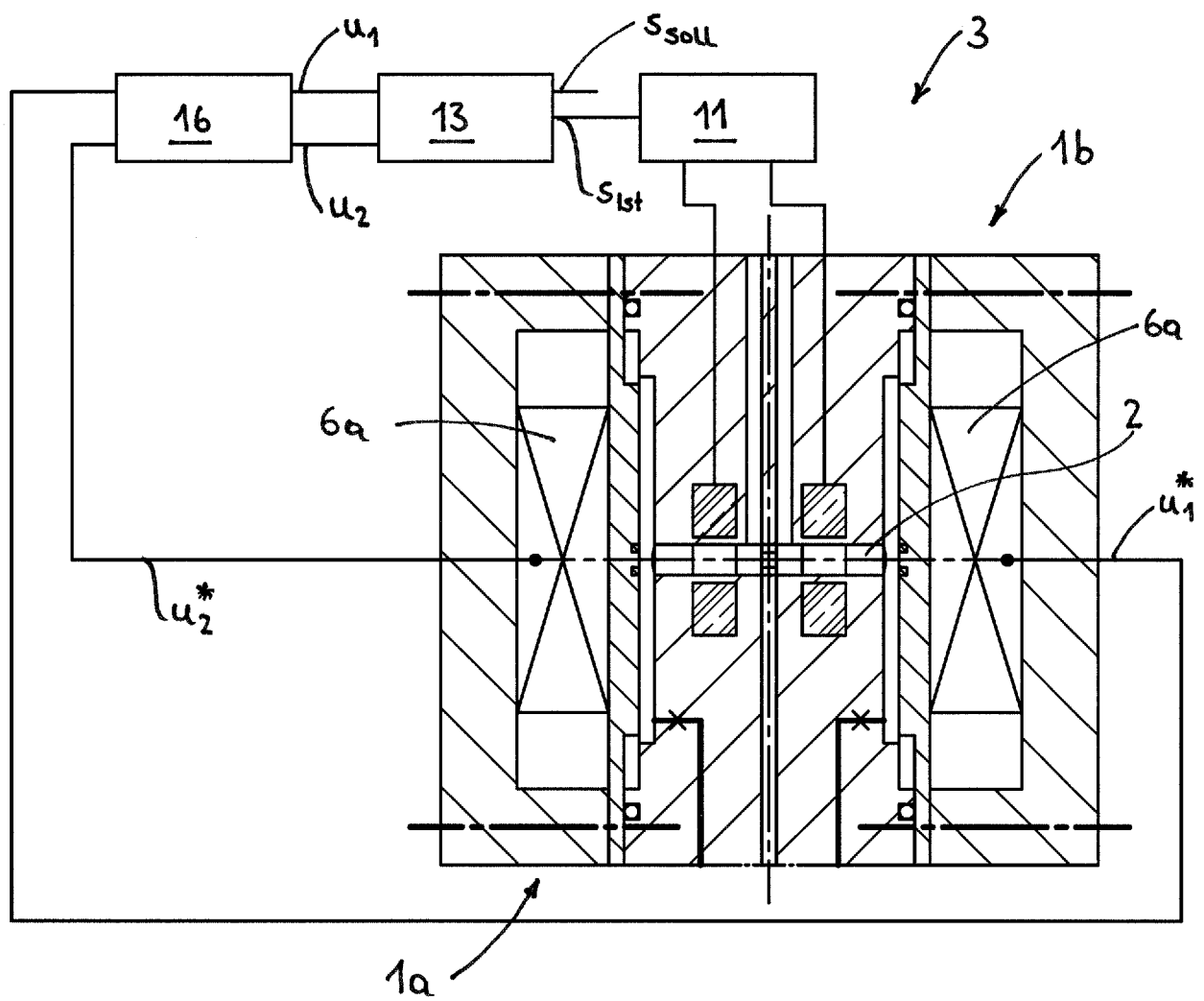
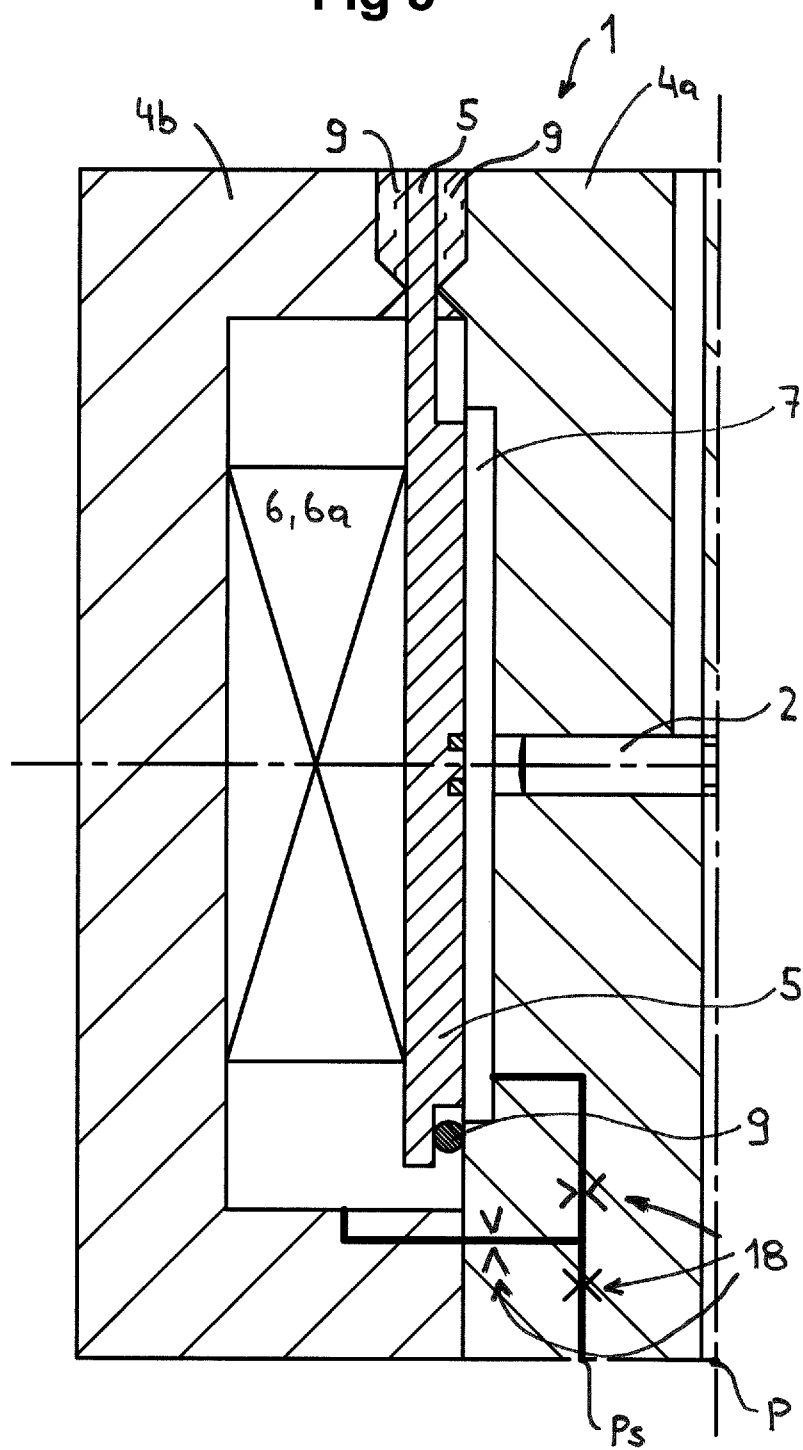


Fig 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/056267

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F16K31/126 F16K31/163 F16K31/165
ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F16K

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2009/311116 A1 (BAI SHUSHAN [US] ET AL) 17 December 2009 (2009-12-17)	1,6
Y	paragraph [0018] - paragraph [0032]; claims; figures	2-5,7,8, 10-16
X	WO 99/58840 A1 (SIEMENS AG [DE]; SIEMENS AUTOMOTIVE CORP LP [US]) 18 November 1999 (1999-11-18)	1,2,4,6, 9
Y	cited in the application page 9, paragraph 1 - page 21, paragraph 4; claims; figures	3,5,7,8, 10-16
Y	DE 44 07 962 C1 (CONTINENTAL AG [DE]) 1 June 1995 (1995-06-01)	2,4,8
A	column 1, line 1 - column 4, line 2; claims; figures	1
	----- -/--	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

31 May 2017

Date of mailing of the international search report

07/06/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Müller, Bernhard

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/056267

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 102 192 135 A (UNIV ZHEJIANG NORMAL) 21 September 2011 (2011-09-21) abstract; figures -----	3
Y	DE 88 01 009 U1 (R. UND D. ROTTER GMBH MED.CHEM. APPARATE- UND ANLAGENBAU) 7 April 1988 (1988-04-07) cited in the application page 10, paragraph 2 - page 12, paragraph 2; claims 1,12,13,14; figures page 3, paragraph 4 - page 4, paragraph 1 -----	7
Y	US 2013/068200 A1 (REYNOLDS PAUL [US] ET AL) 21 March 2013 (2013-03-21) paragraph [0067] - paragraph [0077]; figures 1-7 paragraph [0112] - paragraph [0112] -----	10,11
Y	MATTEN N ET AL: "STETIGWIRKENDES WEGEVENTIL MIT PIEZOAKTUATORISCHEM STELLELEMENT", O & P - OELHYDRAULIK UND PNEUMATIK: ZEITSCHRIFT FUER FLUIDTECHNIK, AKTORIK, STEUERELEKTRONIK UND SENSORIK, VEREINIGTE FACHVERLAGE GMBH, DE, vol. 38, 1 June 1994 (1994-06-01), XP000195279, ISSN: 0341-2660 page 354, paragraph 1 - page 355, paragraph 3; figures -----	12
Y	HERAKOVIC N: "PIEZOAKTORBETATIGUNG FUR EIN EINSTUFIGES HOCHDYNAMISCHES SERVOVENTIL", O & P - OELHYDRAULIK UND PNEUMATIK: ZEITSCHRIFT FUER FLUIDTECHNIK, AKTORIK, STEUERELEKTRONIK UND SENSORIK, VEREINIGTE FACHVERLAGE GMBH, DE, vol. 39, no. 8, 1 August 1995 (1995-08-01) , pages 601-605, XP000515989, ISSN: 0341-2660 cited in the application page 601, column 3, paragraph 3 - page 604, column 1, paragraph 1; figures ----- -/--	5,12-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2017/056267

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WENNMACHER G ET AL: "PROTOTYP EINES DYNAMISCHEN SCHNELLSCHALTVENTILES MIT PIEZOELEKTRISCHER ANSTEUERUNG", O & P - OELHYDRAULIK UND PNEUMATIK: ZEITSCHRIFT FUER FLUIDTECHNIK, AKTORIK, STEUERELEKTRONIK UND SENSORIK, VEREINIGTE FACHVERLAGE GMBH, DE, vol. 37, no. 10, 1 January 1993 (1993-01-01), pages 794-797, XP000195248, ISSN: 0341-2660 page 794, column 2, paragraph 3 - page 797, column 3, paragraph 2 -----	12-15
Y	EP 1 229 264 A2 (HYDRAULIK RING GMBH [DE]) 7 August 2002 (2002-08-07) paragraph [0011] - paragraph [0031]; figures -----	16
A	US 6 062 532 A (GUERICH GUNTER [DE] ET AL) 16 May 2000 (2000-05-16) the whole document -----	1-16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/056267

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2009311116	A1	17-12-2009	CN 101608611 A 23-12-2009
			DE 102009024759 A1 21-01-2010
			US 2009311116 A1 17-12-2009
WO 9958840	A1	18-11-1999	US 5875764 A 02-03-1999
			WO 9958840 A1 18-11-1999
DE 4407962	C1	01-06-1995	NONE
CN 102192135	A	21-09-2011	NONE
DE 8801009	U1	07-04-1988	NONE
US 2013068200	A1	21-03-2013	US 2013068200 A1 21-03-2013
			US 2015285198 A1 08-10-2015
EP 1229264	A2	07-08-2002	AT 304667 T 15-09-2005
			DE 10103426 A1 01-08-2002
			DE 50204212 D1 20-10-2005
			EP 1229264 A2 07-08-2002
			PT 1229264 E 30-11-2005
			US 2002178902 A1 05-12-2002
US 6062532	A	16-05-2000	DE 19803842 A1 19-11-1998
			DE 29708546 U1 10-09-1998
			JP H112350 A 06-01-1999
			US 6062532 A 16-05-2000

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F16K31/126 F16K31/163 F16K31/165
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 F16K

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2009/311116 A1 (BAI SHUSHAN [US] ET AL) 17. Dezember 2009 (2009-12-17)	1,6
Y	Absatz [0018] - Absatz [0032]; Ansprüche; Abbildungen	2-5,7,8, 10-16
X	WO 99/58840 A1 (SIEMENS AG [DE]; SIEMENS AUTOMOTIVE CORP LP [US]) 18. November 1999 (1999-11-18) in der Anmeldung erwähnt	1,2,4,6, 9
Y	Seite 9, Absatz 1 - Seite 21, Absatz 4; Ansprüche; Abbildungen	3,5,7,8, 10-16
Y	DE 44 07 962 C1 (CONTINENTAL AG [DE]) 1. Juni 1995 (1995-06-01)	2,4,8
A	Spalte 1, Zeile 1 - Spalte 4, Zeile 2; Ansprüche; Abbildungen	1
	----- -/-	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert,
aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach
dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft er-
scheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer
anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden
soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie
ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung,
eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach
dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum
oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der
Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der
Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden
Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung
kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf
erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung
kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet
werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren
Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und
diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

31. Mai 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

07/06/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Müller, Bernhard

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	CN 102 192 135 A (UNIV ZHEJIANG NORMAL) 21. September 2011 (2011-09-21) Zusammenfassung; Abbildungen -----	3
Y	DE 88 01 009 U1 (R. UND D. ROTTER GMBH MED.CHEM. APPARATE- UND ANLAGENBAU) 7. April 1988 (1988-04-07) in der Anmeldung erwähnt Seite 10, Absatz 2 - Seite 12, Absatz 2; Ansprüche 1,12,13,14; Abbildungen Seite 3, Absatz 4 - Seite 4, Absatz 1 -----	7
Y	US 2013/068200 A1 (REYNOLDS PAUL [US] ET AL) 21. März 2013 (2013-03-21) Absatz [0067] - Absatz [0077]; Abbildungen 1-7 Absatz [0112] - Absatz [0112] -----	10,11
Y	MATTEN N ET AL: "STETIGWIRKENDES WEGEVENTIL MIT PIEZOAKTUATORISCHEM STELLELEMENT", O & P - OELHYDRAULIK UND PNEUMATIK: ZEITSCHRIFT FÜR FLUIDTECHNIK, AKTORIK, STEUERELEKTRONIK UND SENSORIK, VEREINIGTE FACHVERLAGE GMBH, DE, Bd. 38, 1. Juni 1994 (1994-06-01), XP000195279, ISSN: 0341-2660 Seite 354, Absatz 1 - Seite 355, Absatz 3; Abbildungen -----	12
Y	HERAKOVIC N: "PIEZOAKTORBETÄTIGUNG FÜR EIN EINSTUFIGES HOCHDYNAMISCHES SERVOVENTIL", O & P - OELHYDRAULIK UND PNEUMATIK: ZEITSCHRIFT FÜR FLUIDTECHNIK, AKTORIK, STEUERELEKTRONIK UND SENSORIK, VEREINIGTE FACHVERLAGE GMBH, DE, Bd. 39, Nr. 8, 1. August 1995 (1995-08-01) , Seiten 601-605, XP000515989, ISSN: 0341-2660 in der Anmeldung erwähnt Seite 601, Spalte 3, Absatz 3 - Seite 604, Spalte 1, Absatz 1; Abbildungen ----- -/--	5,12-15

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WENNMACHER G ET AL: "PROTOTYP EINES DYNAMISCHEN SCHNELLSCHALTVENTILES MIT PIEZOELEKTRISCHER ANSTEUERUNG", O & P - OELHYDRAULIK UND PNEUMATIK: ZEITSCHRIFT FÜR FLUIDTECHNIK, AKTORIK, STEUERELEKTRONIK UND SENSORIK, VEREINIGTE FACHVERLAGE GMBH, DE, Bd. 37, Nr. 10, 1. Januar 1993 (1993-01-01), Seiten 794-797, XP000195248, ISSN: 0341-2660 Seite 794, Spalte 2, Absatz 3 - Seite 797, Spalte 3, Absatz 2 -----	12-15
Y	EP 1 229 264 A2 (HYDRAULIK RING GMBH [DE]) 7. August 2002 (2002-08-07) Absatz [0011] - Absatz [0031]; Abbildungen -----	16
A	US 6 062 532 A (GUERICH GUNTER [DE] ET AL) 16. Mai 2000 (2000-05-16) das ganze Dokument -----	1-16

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/056267

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2009311116	A1	17-12-2009	CN	101608611 A	23-12-2009
			DE	102009024759 A1	21-01-2010
			US	2009311116 A1	17-12-2009

WO 9958840	A1	18-11-1999	US	5875764 A	02-03-1999
			WO	9958840 A1	18-11-1999

DE 4407962	C1	01-06-1995	KEINE		

CN 102192135	A	21-09-2011	KEINE		

DE 8801009	U1	07-04-1988	KEINE		

US 2013068200	A1	21-03-2013	US	2013068200 A1	21-03-2013
			US	2015285198 A1	08-10-2015

EP 1229264	A2	07-08-2002	AT	304667 T	15-09-2005
			DE	10103426 A1	01-08-2002
			DE	50204212 D1	20-10-2005
			EP	1229264 A2	07-08-2002
			PT	1229264 E	30-11-2005
			US	2002178902 A1	05-12-2002

US 6062532	A	16-05-2000	DE	19803842 A1	19-11-1998
			DE	29708546 U1	10-09-1998
			JP	H112350 A	06-01-1999
			US	6062532 A	16-05-2000
