

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 9134/2010  
(86) PCT-Anmeldenummer PCT/EP10055278  
(22) Anmeldetag: 21.04.2010  
(45) Veröffentlicht am: 15.06.2013

(51) Int. Cl. : **F15B 11/042** (2006.01)  
**F15B 15/20** (2006.01)

(30) Priorität:  
29.05.2009 DE 102009026604 beansprucht.

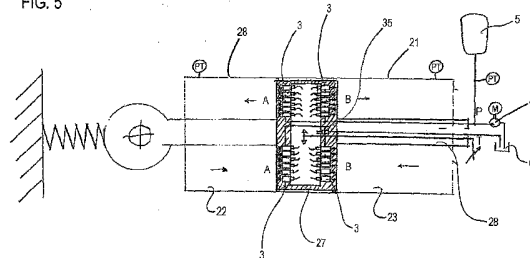
(56) Entgegenhaltungen:  
DE 3130056 A1 JP 60008502 A  
US 2003077183 A1  
EP 0077598 A1 DE 10240334 A1  
US 4590966 A  
US 2006086245 A1

(73) Patentinhaber:  
METSO PAPER, INC.  
SF-00130 HELSINKI (FI)

(54) **HYDRAULIKZYLINDERBAUGRUPPE FÜR EINE MASCHINE ZUR HERSTELLUNG EINER FASERSTOFFBAHN, INSBESONDERE EINE PAPIER- ODER KARTONMASCHINE**

(57) Vorgestellt wird eine Hydraulikzylinderbaugruppe (1) für eine Maschine zur Herstellung einer Faserstoffbahn, insbesondere eine Papieroder Kartonmaschine, mit einem Hydraulikzylinder (2), der ein Zylindergehäuse (21) und einen in dem Zylindergehäuse (21) beweglichen Kolben (27) umfasst, der das Zylindergehäuse (21) in eine zylinderkopfseitige Kammer (22) und eine zylinderbodenseitige Kammer (23) unterteilt, und mindestens einem digitalhydraulischen Druckregler (3), der in die Baugruppe (1) integriert ist, der der zylinderkopfseitigen Kammer (22) und der zylinderbodenseitigen Kammer (23) zugeordnet ist, und der einen Zu- und Abfluss von Arbeitsfluid zu und von den Kammern (22, 23) steuert, um den Druck des Arbeitsfluids in mindestens einer der beiden Kammern (22, 23) des Hydraulikzylinders (2) einzustellen, wobei die Ventile (31) des digitalhydraulischen Druckreglers (3) in dem Kolben (27) des Hydraulikzylinders (2) angebracht sind.

FIG. 5



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Hydraulikzylinderbaugruppe für eine Maschine zur Herstellung einer Faserstoffbahn, insbesondere eine Papier- oder Kartonmaschine.

**[0002]** In Papiermaschinen werden verbreitet Stellzylinder als Betätigungs- und Steuerungsmittel eingesetzt. Diese Stellzylinder werden bevorzugt hydraulisch angetrieben, so dass große Kräfte mit hoher Genauigkeit eingestellt und ausgeübt werden können.

**[0003]** In der Regel wird ein Arbeitsfluid, z.B. Hydrauliköl, Luft, Wasser, unterschiedliche Gase oder Emulsionen von den vorangegangenen Fluiden, etc., verwendet, das von einer Pumpe mit Druck beaufschlagt wird. Die Einleitung des unter Druck stehenden Hydrauliköls in ein hydraulisches Stellglied, wie z.B. einen Hydraulikzylinder oder einen Hydraulikmotor wird üblicherweise durch ein proportionales Steuerventil (Proportionalventil) gesteuert, das elektrisch, hydraulisch oder pneumatisch angetrieben sein kann.

**[0004]** Ein solches Steuerventil hat einen in einem Ventilgehäuse hin- und herbewegbaren Steuerschieber oder Steuerkolben, der in Antwort auf seine Lage in dem Ventilgehäuse einen Solldruck am Ausgang einstellen kann, indem der Druck des von der Pumpe gelieferten Hydrauliköls geregelt wird. Die Beweglichkeit des Steuerkolbens in dem Ventilgehäuse erfordert zwingend ein gewisses Spiel oder Spaltmaß zwischen Steuerkolben und Ventilgehäuse, so dass eine Leckage von Hydrauliköl innerhalb des Steuerventils unvermeidbar ist. Das Spaltmaß darf nicht zu eng gewählt werden, denn sonst ist das Ventil zu anfällig gegen Verschmutzungen im Hydrauliköl.

**[0005]** In letzter Zeit wurden alternative Druckregler entwickelt, die in dieser Anmeldung durchgängig als digitalhydraulische Druckregler bezeichnet sind. Die Arbeitsweise von digitalhydraulischen Druckreglern ist nachstehend kurz zusammengefasst dargestellt:

**[0006]** Ein digitalhydraulischer Druckregler besteht im einfachen Fall aus einer Reihe parallel geschalteter Ventile, die lediglich eine AUF/ZU-Funktion besitzen; also einfache EIN/AUS-Schaltventile sind, die einen Fluiddurchfluss zulassen oder unterbrechen können und in dieser Anmeldung nachstehend als Ventile oder Digitalventile bezeichnet sind. Die Ventile sind alle mit einer gemeinsamen Zufuhrleitung einerseits und mit einer gemeinsamen Auslassleitung andererseits verbunden. Die Ventile selbst können herkömmliche Solenoidventile, d.h. Ventile mit elektromagnetischem Antrieb sein. Ein derartiges elektromagnetisch betätigbares Ventil ist z.B. in EP 1 052 441 A2 beschrieben. Natürlich können auch andere Antriebsformen gewählt werden.

**[0007]** Durch Anschluss oder Einbau von Drosselementen an die Ventile bzw. durch die Bauart der Ventile selbst ist dafür gesorgt, dass die Ventile unterschiedliche Durchflüsse haben, wenn sie geöffnet sind. Wenn beispielsweise vier Ventile vorgesehen sind, so können die Durchflussraten  $Q$  in den einzelnen, jeweils von dem zugehörigen Ventil wahlweise freigebbaren Durchlässen im Verhältnis von 1:2:4:8 zueinander stehen; bei einer größeren Anzahl von Ventilen wird diese Reihe entsprechend fortgesetzt.

**[0008]** Durch Öffnen und Schließen einzelner Ventile bzw. Ventilkombinationen, die auf der Basis von Modellen von einem Rechner bestimmt und ausgewählt werden, kann nun eine sehr rasche und präzise Druckeinstellung in der Auslassleitung bzw. in dem daran angeschlossenen Stellglied erreicht werden, indem die analoge Regelkurve des eingangs geschilderten Proportionalventils durch eine digital erstellte (d.h. angenäherte) Regelkurve ersetzt wird. Diese Kurve kann wegen des Wegfalls von Nichtlinearitäten und/oder Hystereseschleifen des analogen Proportionalventils eine stufenförmig angenäherte Gerade sein, die es erlaubt, einen Regelpunkt schnell und nahezu überschwingungsfrei anzufahren.

**[0009]** Ein weiterer Vorteil bei der Verwendung von digitalhydraulischen Druckreglern liegt darin, dass die Ventile entweder offen oder geschlossen sind, d.h. zum Halten eines Soll-drucks in einem geschlossenen (und somit stationären) System sind die Ventile des Druckreglers einfach geschlossen und es gibt keine Leckageströme im Inneren der Ventile. Damit besteht ein

deutlicher Unterschied zum herkömmlichen Proportionalventil, das stets von einem Hydraulikölstrom durchfließen ist. Dies kostet ständig Energie für die Hydraulikpumpen, z.B. in der Papiermaschine.

**[0010]** Somit ist zu erkennen, dass es der Einsatz von digitalhydraulischen Druckreglern gestattet, die Hydraulikpumpen weniger oft und/oder kürzer zu betreiben, wodurch Energie gespart werden kann.

**[0011]** Hydraulikbaugruppen der eingangs genannten Art sind beispielsweise aus dem Dokument DE 3130056 A1 bekannt.

**[0012]** Es besteht aber weiterhin Bedarf, den Energieverbrauch einer Maschine zur Herstellung einer Faserstoffbahn, insbesondere einer Papier- oder Kartonmaschine, weiter zu verringern.

**[0013]** Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, eine Hydraulikzylinderbaugruppe für eine Maschine zur Herstellung einer Faserstoffbahn, insbesondere eine Papier- oder Kartonmaschine, bereitzustellen, mit der der Energieverbrauch zur hydraulischen Steuerung einer Hydraulikzylinderbaugruppe für eine Papier- oder Kartonmaschine weiter verringert wird.

**[0014]** Die Aufgabe der Erfindung wird mit einer Hydraulikzylinderbaugruppe für eine Maschine zur Herstellung einer Faserstoffbahn, insbesondere eine Papier- oder Kartonmaschine, mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

**[0015]** Vorteilhafte Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Baugruppe sind in den Unteransprüchen dargelegt.

**[0016]** Gemäß einem Gesichtspunkt der Erfindung ist eine Hydraulikzylinderbaugruppe für eine Maschine zur Herstellung einer Faserstoffbahn, insbesondere eine Papier- oder Kartonmaschine, bereitgestellt. Die Baugruppe hat einen Hydraulikzylinder, der ein Zylindergehäuse und einen in dem Zylindergehäuse beweglichen Kolben umfasst, der das Zylindergehäuse in eine zylinderkopfseitige Kammer und eine zylinderbodenseitige Kammer unterteilt, und mindestens einen digitalhydraulischen Druckregler, der in die Baugruppe integriert ist, der der zylinderkopfseitigen Kammer und der zylinderbodenseitigen Kammer zugeordnet ist, und der einen Zu- und Abfluss von Arbeitsfluid zu und von den Kammern steuert, um den Druck des Arbeitsfluids in mindestens einer der beiden Kammern des Hydraulikzylinders einzustellen. Die Ventile des digitalhydraulischen Druckreglers sind in dem Kolben des Hydraulikzylinders angebracht. In dieser vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind die Ventile des digitalhydraulischen Druckreglers in dem Kolben selbst angebracht. Diese Bauweise ist nicht nur kompakt, sondern es sind auch wenige hydraulische Anschlussstellen vorhanden. Dies verbessert die Zuverlässigkeit, weil es wenige Stellen im Hydraulikkreis gibt, die undicht werden können.

**[0017]** In den nachfolgenden Erläuterungen ist stets von einer Papiermaschine die Rede; dieser Begriff soll aber ausdrücklich alle Maschinentypen zur Herstellung von Faserstoffbahnen, also insbesondere auch Kartonmaschinen, Faserplattenmaschinen und dergleichen umfassen.

**[0018]** Wenn ein digitalhydraulischer Druckregler anstelle eines herkömmlichen Proportionalventils verwendet wird, ist bei unveränderter Stellung des Hydraulikzylinders der Hydraulikflüssigkeitsverbrauch, d.h. der innere Leakagestrom im Regler Null. In einer Papiermaschine sind viele verstellbare Elemente erforderlich und vorhanden; die Verstellung erfolgt aber nicht oft sondern nur bei relativ selten auftretenden Vorgängen, wie Anfahrvorgängen, Bahnabrissen und Neueinfädungen der Bahn, Tambourwechsel oder Wartungsmaßnahmen. Die Stellbewegungen, die üblicherweise mittels an den zu verstellenden Bauteilen in der Papiermaschine angreifenden Hydraulikzylindern ausgeführt werden, umfassen dabei einen Verfahrensvorgang eines Hydraulikzylinders und/oder ggf. einen Druckaufbau, um irgendwelche mechanischen Druckkräfte, z.B. einen Druck in einem Spalt zwischen zwei Walzen, zu erzeugen.

**[0019]** Die Erfinder haben nun gefunden, dass der Aufwand für die Bereitstellung, Verlegung und Wartung von Rohrleitungen für die Versorgung eines Hydraulikzylinders mit Arbeitsfluid in einer herkömmlichen Papiermaschine beachtlich ist. Die verwendeten Materialien müssen für die feuchtheiße Umgebung korrosionsfest sein, es sind enorme Strecken zu bewältigen, denn

eine übliche Papiermaschine ist schlichtweg groß (mehrere zig Meter lang), so dass hier der Materialverbrauch an hochwertigem Rohrmaterial ein echter Kostenfaktor ist. Zudem ergeben sich Strömungsverluste bei der Führung der Fluidströme in den Leitungen, die entweder durch größere Rohrquerschnitte, d.h. mehr Materialverbrauch, oder durch höhere Pumpleistung, d.h. durch einen höheren Energieverbrauch, ausgeglichen werden müssen.

**[0020]** Durch die Zuordnung von mindestens einem digitalhydraulischen Druckregler zu der zylinderkopfseitigen Kammer und der zylinderbodenseitigen Kammer des Zylindergehäuses und durch die Integration des Reglers in die Hydraulikzylinderbaugruppe können lange Leitungsführungen entfallen und eine kompakte Bauweise gewährleistet werden.

**[0021]** Bevorzugt ist der Kolben ein hin- und herbewegbarer Kolben mit Kolbenstange. Dieser Kolben kann ein hin- und herbewegbarer hohler Kolben mit hohler Kolbenstange sein, wobei in dem Kolben optional die Ventile des digitalhydraulischen Druckreglers angeordnet sein können und die hydraulische und elektrische Leitungsführung des digitalhydraulischen Druckreglers durch die Kolbenstange hindurch zu den Ventilen geführt werden kann, wodurch die Bauweise des Hydraulikzylindergehäuses vereinfacht werden kann. Durch die Hohlbauweise des Kolbens und der Kolbenstange wird ein zusätzlicher Raum zur vorhin genannten Leitungsführung erst dann nutzbar, im Gegensatz zu einem massiven Kolben, der in einer Massivbauweise hergestellt wurde. Somit kann der zur Verfügung stehende Platz innerhalb des Kolben- und Kolbenstangenmaterials optimal zum Einbau von den Ventilen der hydraulischen Druckregler und den entsprechenden Leitungen genutzt werden. Bei dieser Bauform von Kolben ist ferner sichergestellt, dass die Ventile der hydraulischen Druckregler derart in dem Kolben eingebaut sind, dass deren Auslässe direkt zu der zylinderkopfseitigen Kammer und der zylinderbodenseitigen Kammer des Hydraulikzylinders zugeordnet sind, so dass die Kolbenstange letztlich eine Stellung einnimmt, die im Wesentlichen von der durch die Druckregler eingestellten Differenz der Drücke in der zylinderkopfseitigen Kammer und der zylinderbodenseitigen Kammer des Hydraulikzylinders abhängt.

**[0022]** Für die Ventile des hydraulischen Druckreglers können z.B. 2/2 Solenoidventile von Matrix Mechatronics, vorzugsweise der 750-er Serie, verwendet werden.

**[0023]** Gemäß einem nicht beanspruchten Gesichtspunkt der Erfindung sind die Ventile des digitalhydraulischen Druckreglers unmittelbar an dem Hydraulikzylinder angebracht, und es ist besonders bevorzugt, dass das Zylindergehäuse eine zu der zylinderkopfseitigen Kammer korrespondierende Vorkammer und eine zu der zylinderbodenseitigen Kammer korrespondierende Vorkammer aufweist, die voneinander hydraulisch getrennt sind und an denen die Ventile des digitalhydraulischen Druckreglers unmittelbar angebracht sind. Ferner können die beiden Vorkammern durch eine das Zylindergehäuse fluiddicht umgebende Zylinderhülle gebildet sein und einen zu der zylinderkopfseitigen Kammer korrespondierenden Ringraum und einen zu der zylinderbodenseitigen Kammer korrespondierenden Ringraum definieren, wobei die Ringräume durch eine zwischen dem Zylindergehäuse und der Zylinderhülle angeordnete Trennwand voneinander hydraulisch getrennt sind und anderen Umfangsflächen die Ventile des digitalhydraulischen Druckreglers angebracht sind. Optional sind die Zylinderhülle und die Trennwand einstückig an dem Zylindergehäuse ausgebildet. Bei dieser Bauform des Hydraulikzylinders sind die Auslässe der unmittelbar an dem Hydraulikzylinder (z.B. an der Zylinderhülle) angebrachten Ventile des digitalhydraulischen Druckreglers zu den jeweiligen Vorkammern korrespondierend zugeordnet. Die Vorkammern weisen dann einen gemeinsamen Zufuhr- bzw. Auslassanschluss an dem Zylindergehäuse selbst auf. Die Positionen der gemeinsamen Anschlüsse an dem Zylindergehäuse sind derart festgelegt, dass eine Positionsverstellung des Kolbens innerhalb des Zylinders durch die unterschiedlich einstellbaren Drücke in den Vorkammern unabhängig von der jeweiligen Lage des Kolbens gewährleistet werden kann. Der Kolben und somit die Kolbenstange nehmen letztlich eine Stellung ein, die im Wesentlichen von der durch die Druckregler eingestellten Differenz der Drücke in der zu der zylinderkopfseitigen Kammer zugeordneten Vorkammer und der zu der zylinderbodenseitigen Kammer zugeordneten Vorkammer abhängt.

**[0024]** In den obigen oder weiteren Ausgestaltungen kann der digitalhydraulische Druckregler ein Differenzdruckregelventil umfassen, das eine direkte hydraulische Verbindung zwischen der zylinderkopfseitigen Kammer und der zylinderbodenseitigen Kammer schaltet und einen Durchfluss von Arbeitsfluid zwischen der zylinderkopfseitigen Kammer und der zylinderbodenseitigen Kammer steuert. Bevorzugt können die Volumina der zylinderkopfseitigen Kammer und der zylinderbodenseitigen Kammer gleich groß sein.

**[0025]** Gemäß den obigen Ausführungen zu der Erfindung ist der Hydraulikzylinder ein Differentialzylinder. In einem Differentialzylinder sind sowohl auf der Kolbenstange als auch auf der Kolbenstangenseite druckwirksame Flächen ausgebildet, so dass die Kolbenstange des Zylinders letztlich eine Stellung einnimmt, die von der auf die Kolbenstange wirkenden Last und der Differenz der Drücke auf der Kolbenstange und der Stangenseite abhängt. Im Betrieb wird, wenn die Lage des Kolbens verstellt werden soll, Arbeitsfluid unter Druck in die Zylinderkammer eingespeist, deren Volumen zunehmen soll, während eine entsprechende Menge an Arbeitsfluid aus der Zylinderkammer abgelassen wird, deren Volumen abnehmen soll. In diesem Fall wird Arbeitsfluid auf einem Druckniveau abgelassen, das deutlich über dem eines Vorratsbehälters, nachfolgend als Tank bezeichnet, liegt. Dies bedeutet, dass die zuvor investierte Pumpenergie, die in diesem abzulassenden Teil des Arbeitsfluid enthalten ist, ungenutzt in den Tank abgegeben wird. Durch das Differenzdruckregelventil, das die beiden Kammern des Zylinders miteinander hydraulisch verbindet, kann das Arbeitsfluid auf hohem Druckniveau von einer Druckkammer in die andere strömen und es ist ggf. nur die Pumpenergie aufzubringen, die zur Druckerhöhung in diesem Volumen erforderlich ist. Auf diese Weise wird Energie gespart. Ferner kann durch die Verwendung des Differenzdruckregelventils auch ein vereinfachter Aufbau des digitalhydraulischen Druckreglers in Verbindung mit einem Differentialzylinder erreicht werden.

**[0026]** Bei den obigen Ausführungsbeispielen kann die Baugruppe des Weiteren eine integrierte Pumpe umfassen, um das Arbeitsfluid mit ausreichend hohem Druck für den digitalhydraulischen Druckregler bereitzustellen. Die Pumpe kann unmittelbar an dem Hydraulikzylinder angebracht sein. Ferner kann die Pumpe das Arbeitsfluid mit hohem Druck in einen mit dem digitalhydraulischen Druckregler hydraulisch verbindbaren Druckspeicher einspeisen und diesen mit Druck beaufschlagen.

**[0027]** Bei den vorstehend gezeigten Ausführungsformen haben die Erfinder gefunden, dass mit dem Wegfall des permanenten Leckagestroms in Proportionalsteuerventilen tatsächlich ein so geringer Bedarf an Arbeitsfluid vorliegt, dass es energetisch ungünstig ist, eine für den Leckagestrom hinreichend groß ausgelegte Pumpe wiederholt ein- und auszuschalten. Die Erfinder haben nun gefunden, dass der Verbrauch an Arbeitsfluid auch aus einem Druckspeicher gedeckt werden kann, wobei der Druckspeicher mit einer Pumpe von Zeit zu Zeit aufgeladen wird. Hierzu ist es möglich, jeder einzelnen Baugruppe einen eigenen Druckspeicher und/oder eine eigene integrierte Pumpe bzw. mehreren Baugruppen einen gemeinsamen Druckspeicher und/oder Pumpe zuzuordnen. In dem zweiten Fall kann eine einzelne Pumpe vorgesehen werden, die die mehreren Druckspeicher auflädt. Im Fall mehrerer Druckspeicher können diese auch nacheinander einzeln aufgeladen werden, so dass eine in die jeweilige Baugruppe vorübergehend integrierbare kleine Pumpe, die für den entsprechenden Druckspeicher der Baugruppe bemessen ist, ausreicht.

**[0028]** Durch die Zuordnung von individuellen Druckspeichern zu den einzelnen Baugruppen lässt sich eine funktionale und räumliche Aufgliederung der Druckversorgungsbereiche, d.h. einzelne lokale in die Baugruppe integrierbare Pumpen werden vorgesehen, die unabhängig voneinander sind, so dass lange Leitungsstränge entfallen können.

**[0029]** Des Weiteren kann mit einem schnellen Satz von Digitalventilen eines digitalhydraulischen Druckreglers an einem Druckspeicher der Druck z.B. in einem Walzenspalt oder Walzenrip exakt gesteuert werden, obwohl der Pegel des Versorgungsdrucks ein wenig schwankt oder nachlässt. Der Satz Digitalventile ist zusätzlich zu dem Hydraulikzylinder auch zu dem Druckspeicher zugeordnet, um den Druck und den von dem Druckspeicher abgegebenen Volumen-

strom zu steuern. Wenn der Druckspeicher erschöpft ist, d.h. die darin gespeicherte Energie abgegeben wurde, kann der Satz Digitalventile auf den Pumpenbetrieb umschalten. Dabei wird die Druckregelung unmittelbar mit dem gepumpten Arbeitsfluid ausgeführt und gleichzeitig wird der Druckspeicher wieder aufgeladen. Dann schaltet die Pumpe wieder ab und es wird wieder Arbeitsfluid aus dem Druckspeicher entnommen, wodurch die Energiekosten erheblich gesenkt werden können.

**[0030]** Die Erfindung kann mit zahlreichen Modifikationen und Optionen in die Praxis umgesetzt werden, von denen einige nachfolgend geschildert werden. Diese Modifikationen tragen zu einem vereinfachten Aufbau der Hydraulikzylinderbaugruppe und/oder zur Verminderung des Energieverbrauchs bei.

**[0031]** Ein üblicher digitalhydraulischer Druckregler hat in der Regel eine Reihe oder Bank parallel geschalteter Ventile für die Zuführung von Arbeitsfluid zu einer Druckkammer eines Hydraulikzylinders (z.B. ein einfach-wirkender Plungerzylinder, ein doppelt-wirkender Differentialzylinder, etc.) und eine Bank parallel geschalteter Ventile zum Ablassen von Arbeitsfluid aus dieser Druckkammer. In der Regel sind einem Differentialzylinder mit zwei Druckkammern insgesamt vier Ventilbänke zugeordnet. Mit einem Umschaltventil (z.B. 4/2-Wege Ventil) kann eine Vereinfachung des Aufbaus erreicht werden, indem jeweils eine Ventilbank mit jeweils einer Zylinderdruckkammer verbunden ist, während das Umschaltventil die beiden Ventilbänke abwechselnd mit dem Tank oder der Pumpe (bzw. der Druckquelle) verbindet.

**[0032]** Werden digitalhydraulische Druckregler zusammen mit Hydraulikzylindern verwendet, so liegt ein besonderer Vorteil darin, dass diese Regler keinen Leckagestrom aufweisen. Daher stehen Arbeitsfluidvolumina und Kolbenstellung in sehr engem Zusammenhang, d.h. misst man das dem Zylinder zugeführte Arbeitsfluidvolumen, kann man auf die tatsächliche Kolbenstellung schließen. Bei dem Betrieb eines solchen Zylinders kann die Kolbenstellung eine wichtige Größe sein, insbesondere bei der Einstellung von genauen Abständen bei großen Kräften oder hinsichtlich einer Synchronisation von Bewegungen.

**[0033]** Die herkömmlich verwendete Sensorik für diese Aufgabe ist an der Außenseite des Zylinders angeordnet und damit den widrigen Umgebungsbedingungen von beispielsweise Papiermaschinen ausgesetzt, wo es häufig staubig und/oder feucht ist. Dadurch ist diese Sensorik störungsanfällig.

**[0034]** Durch den engen Zusammenhang zwischen vom Regler abgegebenem Arbeitsfluidvolumen und der Kolbenstellung kann gemäß einer Weiterbildung der Erfindung aus einer Volumenstrommessung im Arbeitsfluidstrom, beispielsweise mit Zahnradurchflussmessern, auf die Kolbenstellung geschlossen werden. Dabei kann der Durchflussmesser an einer Stelle angebracht sein, die von der Kolbenstange (deren Position erfasst werden soll) entfernt ist. Zudem kann man solche Durchflussmesser kapseln, da sie nur etwas erfassen müssen, was in ihrem Inneren erfolgt. Auf diese Weise ist eine zuverlässige Kolbenstellungserfassung möglich. Selbst wenn ein Messfehler bei der Erfassung des Durchflusses auftritt, ist diese Sensorikanordnung, besonders wenn Hin- und Rückfluss zum bzw. vom Zylinder getrennt erfasst und ausgewertet werden, hinreichend genau, um Fehlfunktionen zu erkennen.

**[0035]** Es ist ferner auch möglich, aus der Arbeitsweise des digitalhydraulischen Reglers auf das verschobene Arbeitsfluidvolumen zu schließen, indem man die einzelnen Ströme durch die einzelnen Ventile eines Reglers unter Berücksichtigung der Öffnungszeiten aufsummiert. Auf diese Weise kann ggf. sogar jeglicher Durchflussmesser eingespart werden. Dabei kann man die Erkenntnis nutzen, dass die Öffnungszeiten der einzelnen Ventile für die Regelung ohnehin berechnet werden und aus der Berechnung mit den individuellen Durchflussraten durch die entsprechenden Ventile auf das in der jeweiligen Druckkammer vorliegende Volumen und somit auf die Kolbenstellung geschlossen werden kann.

**[0036]** Zur raschen Ansteuerung von Strömen von Arbeitsfluiden kann das Prinzip der Digitalhydraulik auch für Durchflussregler eingesetzt werden. In der Regel werden für die Regelung der beachtlichen Volumenströme des Arbeitsfluids große Ventile mit großen Querschnitten

eingesetzt, deren Regelgenauigkeit begrenzt ist. Beim Stoffauflauf einer Papiermaschine beispielsweise, ist es erforderlich, die Zusammensetzung der Faserstoffsuspension genau zu steuern, damit ein Papier mit gleichbleibender Qualität erzeugt wird. In diesem Fall ist die Verdünnung der Suspension (Dilution) durch Zugabe von Wasser zu steuern. Diese Zugabe von Wasser zur Einstellung einer gewünschten Verdünnung kann mittels digitalhydraulischen Ventilanordnungen sehr präzise und reaktionsschnell gesteuert werden, indem die Ventile mit den entsprechenden Durchflussraten, wie eingangs geschildert, geöffnet bzw. geschlossen werden. Durch die Verwendung mehrere solcher digitalhydraulischer Durchflussregler mit entsprechenden Querschnitten (die Ventile müssen noch rasch genug schaltbar sein) können auch großvolumige Stoffströme gesteuert werden.

**[0037]** Ein wichtiges Kriterium für die Qualität (Genauigkeit, Überschwingverhalten, etc.) der Regelung mittels digitalhydraulischen Reglern ist die Schaltgeschwindigkeit der einzelnen Ventile, d.h. wie rasch die Ventile geöffnet bzw. geschlossen werden können. Für die rasche Bewegung des Ventilkörpers im Ventil sind aber größere (Beschleunigungs-) Kräfte erforderlich als zum Halten des Ventils im angesteuerten Zustand. Aus diesem Grunde können für den Stellvorgang sogenannte Booster oder Verstärker eingesetzt werden, die eine Spule des elektromagnetisch betätigten Ventils kurzzeitig mit einer Überspannung versorgen, so dass ein stärkeres Magnetfeld entsteht und der Ventilkörper schneller bewegt werden kann. Ein Vorteil dieser Technik liegt darin, dass diese Spulen nur so groß dimensioniert werden müssen, dass sie diese kurzzeitige Überlastung überstehen und im Dauerbetrieb eine niedrigere Spannung aushalten.

**[0038]** Die zuvor beschriebenen digitalhydraulischen Regleranordnungen werden in der Regel mit Hydrauliköl als Arbeitsfluid betrieben. Die Verwendung von Öl ist für die üblichen Steuerventile zur Schmierung der Steuerkolben grundsätzlich erforderlich oder zumindest von Vorteil. Nachdem die digitalhydraulischen Regler nur noch einfache Abschaltventile verwenden, gibt es diese Schmierungserfordernis nicht mehr oder nicht mehr in dem Maße. Deshalb kann das Arbeitsfluid auch eine wässrige Emulsion (z.B. eine Öl/Wasser Emulsion ähnlich der Bohrmilch) oder sogar einfaches Wasser sein.

**[0039]** Neben einer erheblichen Verringerung des Aufwands, der getroffen werden muss, um die Umwelt vor Verschmutzung durch austretendes Öl zu schützen, gibt es auch technische Vorteile. Die Viskosität von Öl ist temperaturabhängig. In digitalhydraulischen Reglern sind in der Regel feste Drosseln zur Einstellung der Volumenströme durch die einzelnen Ventile vorgesehen, deren Drosselwirkung eine deutliche Abhängigkeit von der Viskosität des Arbeitsfluids zeigt. Bei Wasser oder wässrigen Emulsionen hat die Temperatur nur einen geringen Einfluss auf die Viskosität, so dass die Temperaturempfindlichkeit des Hydrauliksystems gering ist. Damit ist es nicht erforderlich, die Temperatur des Arbeitsfluids am Einsatzort des digitalhydraulischen Reglers zu berücksichtigen.

**[0040]** Die Erfindung wird nachfolgend hinsichtlich verschiedener Gesichtspunkte anhand von beispielhaften Ausgestaltungen nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert, in denen Folgendes gezeigt ist:

**[0041]** Fig. 1 zeigt einen schematischen Aufbau eines Abschnitts einer Hydraulikzylinderbaugruppe mit digitalhydraulischen Druckreglern;

**[0042]** Fig. 2 zeigt einen schematischen Aufbau eines Abschnitts einer Hydraulikzylinderbaugruppe mit digitalhydraulischen Druckreglern, die durch Differenzdruckregelventile miteinander hydraulisch verbunden sind;

**[0043]** Fig. 3 zeigt einen Abschnitt einer Hydraulikzylinderbaugruppe mit digitalhydraulischen Druckreglern, einem Differenzdruckregelventil, einem hydraulischen Differentialzylinder, einer integrierten Pumpe und einem Tank, und einen Druckspeicher in einem schematischen Schaltbild;

- [0044]** Fig. 4 zeigt einen Abschnitt einer Hydraulikzylinderbaugruppe mit digitalhydraulischen Druckreglern, einem Differenzdruckregelventil, einem hydraulischen Differentialzylinder, einer integrierten Pumpe, einem Tank und einem Druckspeicher in einem schematischen Schaltbild;
- [0045]** Fig. 5 zeigt einen schematischen Aufbau einer Hydraulikzylinderbaugruppe mit digitalhydraulischen Druckreglern, deren Ventile in einem Kolben des Hydraulikzylinders angeordnet sind;
- [0046]** Fig. 6 zeigt einen Abschnitt einer Hydraulikzylinderbaugruppe mit digitalhydraulischen Druckreglern, einem Differenzdruckregelventil und einem hydraulischen Differentialzylinder, und einen Druckspeicher in einem schematischen Schaltbild; und
- [0047]** Fig. 7 zeigt einen Abschnitt einer Hydraulikzylinderbaugruppe mit einem digitalhydraulischen Druckregler, einem Differenzdruckregelventil, einem hydraulischen Differentialzylinder und einem Richtungssteuerungsventil, und einen Druckspeicher in einem schematischen Schaltbild.

**[0048]** In der nachfolgenden Beschreibung der Figuren sind gleiche bzw. funktionsgleiche Elemente mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet, so dass die allgemeine Funktionsbeschreibung lediglich anhand einer Fig. vorgenommen und dann darauf verwiesen wird. Wenn ferner im nachfolgenden Text von Druckreglern oder Durchflussreglern die Rede ist, so sind diese, wenn nichts anderes gesagt ist, digitalhydraulische Druckregler oder Durchflussregler die unter Verwendung des eingangs in der Beschreibung erläuterten digitalhydraulischen Prinzips arbeiten.

**[0049]** In der Fig. 1 ist ein Aufbau eines Abschnitts einer Hydraulikzylinderbaugruppe 1 gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung schematisch gezeigt.

**[0050]** Diese Hydraulikzylinderbaugruppe 1 weist einen Hydraulikzylinder 2 und vier digitalhydraulische Druckregler 3 auf. Der Hydraulikzylinder 2 ist ein hydraulischer Differentialzylinder 2 und hat ein Zylindergehäuse 21 und einen in dem Zylindergehäuse beweglichen Kolben 27. Das Zylindergehäuse 21 ist durch einen Kopf des Kolbens 27 in eine zylinderkopfseitige Kammer 22 und eine zylinderbodenseitige Kammer 23 unterteilt. Des Weiteren weist das Zylindergehäuse 21 eine zu der zylinderkopfseitigen Kammer 22 korrespondierende Vorkammer 24 und eine zu der zylinderbodenseitigen Kammer 23 korrespondierende Vorkammer 25 auf. Diese beiden Vorkammern 24, 25 sind voneinander durch eine Trennwand 26, die sich von dem Umfang des Zylindergehäuses 21 radial nach außen und ringförmig um das Gehäuse 21 herum erstreckt, hydraulisch getrennt. Die beiden Vorkammern 24, 25 sind durch eine das Zylindergehäuse 21 fluiddicht umgebende Zylinderhülle gebildet, wodurch ein zu der zylinderkopfseitigen Kammer 22 korrespondierender Ringraum (d.h. die zylinderkopfseitige Vorkammer 24) und ein zu der zylinderbodenseitigen Kammer 23 korrespondierender Ringraum (d.h. die zylinderbodenseitige Vorkammer 25) zwischen dem Zylindergehäuse 21 und der Zylinderhülle 29 festgelegt sind. Diese beiden Ringräume sind durch die zwischen dem Zylindergehäuse 21 und der Zylinderhülle 29 angeordnete Trennwand 26 voneinander hydraulisch getrennt. Die Trennwand 26 ist mit dem Zylindergehäuse 21 und der Zylinderhülle 29 fest verbunden (z.B. verschweißt).

**[0051]** Eine Kolbenstange 28 des Kolbens 27 ist in der zylinderkopfseitigen Kammer 22 angeordnet. Der Kolben 27 ist in üblicher Weise in dem Zylindergehäuse 21 gleitbar aufgenommen, um in diesem hin- und herbewegbar zu sein. Die Kolbenstange 28 tritt an der Zylinderkopfseite durch eine Bohrung in der Zylinderkopfhülle 29 hindurch, welche das Zylindergehäuse 21 und somit sowohl die zylinderkopfseitige Kammer 22 als auch die zylinderbodenseitige Kammer 23 fluiddicht umschließt und abdichtet.

**[0052]** Jeweils zwei digitalhydraulische Druckregler 3 sind an einer gemeinsamen Zufuhrleitung 32 bzw. einer gemeinsamen Auslassleitung 33 angeschlossen bzw. in dieser integriert angeordnet. Jeder Druckregler 3 weist in der Zufuhrleitung 32 bzw. Auslassleitung 33 jeweils fünf in Parallelschaltung angeordnete digitalhydraulische Ventile 31 (EIN/AUS-Ventile) und Dros-

selelemente 34 auf, die unmittelbar an der Zylinderhülle 29 des Hydraulikzylinders 2 befestigt sind.

**[0053]** Beispielweise wird als das Ventil 31 ein übliches Steuerungsventil der Bauart GSR-RRV 95, welches z.B. in EP 1 052 441 A2 beschrieben ist, verwendet. Die Funktionsweise und der Aufbau eines derartigen Digitalventils sind in dieser Schrift ausführlich beschrieben.

**[0054]** Die gemeinsame Zufuhrleitung 32 als auch die gemeinsame Auslassleitung 33 ist mit einem Arbeitsfluid (beispielsweise Hydrauliköl, Luft, etc.) befüllt. Durch den Einbau der Drosselselemente 34 an die digitalhydraulischen Ventile 31 in entsprechenden Leitung 32, 33 ist dafür gesorgt, dass die Ventile 31 unterschiedliche Durchflüsse aufweisen, wenn sie geöffnet sind. Beispielsweise können durch die vorgeschalteten Drosselselemente 34 die Durchflussraten  $Q$  des Arbeitsfluids in den einzelnen, jeweils von den entsprechend zugehörigen Ventilen 31 wahlweise freigebbaren Durchlässen im Verhältnis von 1:2:4:8:16 zueinander stehen.

**[0055]** Die gemeinsame Zufuhrleitung 32 ist somit über die parallel geschalteten Ventile 31 und Drosselselemente 34 der beiden Druckregler 3, die auf der linken Seite in Fig. 1 schematisch dargestellt sind, mit der zylinderkopfseitigen Kammer 22 als auch mit der zylinderbodenseitigen Kammer 23 hydraulisch verbunden. Die gemeinsame Auslassleitung 33 ist ebenso über die parallel geschalteten Ventile 31 und Drosselselemente 34 der beiden Druckregler 3, die auf der rechten Seite in Fig. 1 schematisch dargestellt sind, mit der zylinderkopfseitigen Kammer 22 als auch der zylinderbodenseitigen Kammer 23 hydraulisch verbunden.

**[0056]** Sensoren (nicht gezeigt) erfassen den Druck und die Temperatur in den beiden Druckkammern 22 und 34 des Differentialzylinders 2. Der Druck in der zylinderbodenseitigen (kolbenstangenseitigen) Druckkammer 23 wirkt auf eine stangenseitige Kolbenringfläche 281, während der Druck in der zylinderkopfseitigen (kolbenseitigen) Druckkammer 22 auf die Kolbenfläche 271 drückt. Die Kolbenfläche 271 umfasst eine Kreisringfläche des Kolbens 27 und eine Kegestumpffläche eines Bremskegels des Kolbens 27 an der Zylinderkopfseite. Weitere Sensoren (nicht gezeigt) erfassen den Druck  $P_{zu}$  in der Zufuhrleitung 32 und den Druck  $P_{ab}$  in der Auslassleitung 33. Mit den vier Druckreglern 3 können Füllmenge und Druck in den beiden Druckkammern 22 und 23 eingestellt werden, damit die Kolbenstange 28 in der gewünschten Stellung und mit der gewünschten Kraft mit einem daran angeschlossenen Maschinenelement (nicht gezeigt) zusammenwirkt.

**[0057]** Der Druck  $P_{zu}$  in der Zufuhrleitung 32, von dem ausgehend der Zylinder 2 zu steuern ist, wird mittels des Drucksensors gemessen und davon ausgehend wird der Solldruck in den Druckkammern 22 und 23 durch entsprechende Regelung der Durchflüsse in den Ventilen 31 der Druckregler 3 eingestellt, um die Kolbenstange 28 innerhalb des Zylindergehäuses 21 gleitbar zu verschieben und in eine gewünschte Sollposition zu bringen. D.h., durch entsprechendes Zu- und Abschalten der Ventile 31, die an der Zylinderhülle 29 angebracht sind, kann somit ein Zu- und Abfluss des Arbeitsfluids zu und von den jeweiligen Kammern des Hydraulikzylinders 2 gesteuert werden, um dadurch den Druck des Arbeitsfluids in zumindest einer von der zylinderkopfseitigen Kammer 22 und der zylinderbodenseitigen Kammer 23 einzustellen, wodurch die Position des Kolbens 27 innerhalb des Zylindergehäuses 21 entsprechend verstellt wird.

**[0058]** In der Fig. 2 ist ein schematischer Aufbau eines Abschnitts einer Hydraulikzylinderbaugruppe 1 gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung schematisch gezeigt.

**[0059]** Der Aufbau dieses Ausführungsbeispiels entspricht im Wesentlichen dem Aufbau der Hydraulikzylinderbaugruppe 1, wie in der Fig. 1 gezeigt ist. Jedoch umfasst diese Hydraulikzylinderbaugruppe 1 zusätzlich zwei Differenzdruckregelventile 35, von denen jeweils eines eine direkte hydraulische Verbindung zwischen der zylinderkopfseitigen Vorkammer 24 und der zylinderbodenseitigen Vorkammer 25 an der Zufuhrleitungsseite bzw. der Auslassleitungsseite bereitstellt.

**[0060]** Jedes Differenzdruckregelventil 35 ist an der Zylinderhülle 29 im Bereich der Trennwand

26, also im Bereich zwischen der zylinderkopfseitigen Vorkammer 24 und der zylinderbodenseitigen Vorkammer 25 an der Zylinderhülle 29 angeordnet, und somit innerhalb der Baugruppe 1 integriert.

**[0061]** Durch das jeweilige Differenzdruckregelventil 35, das die beiden Kammern 22, 23 des Zylinders 2 miteinander hydraulisch verbindet, kann das Arbeitsfluid auf hohem Druckniveau von einer Druckkammer in die andere strömen und es ist somit nur erforderlich, eine solche Pumpenergie bereitzustellen, die zur weiteren Druckerhöhung in der jeweiligen Kammer erforderlich ist, um die Stellung der Kolbenstange 27 zu verändern. D.h., das Differenzdruckregelventil 35 regelt einen Durchfluss von Arbeitsfluid zwischen der zylinderkopfseitigen Kammer 22 und der zylinderbodenseitigen Kammer 23.

**[0062]** Bevorzugt wird das Differenzdruckregelventil 35 während einer raschen Positionsverstellung des Kolbens 27 und der Kolbenstange 28 angesteuert (d.h. geöffnet), um einen Volumenstrom von der einen Druckkammer in die andere zu ermöglichen, ohne dass eine zusätzliche Volumenstromregelung der an der Zylinderhülle 29 angebrachten Ventile 31 in erhöhtem Maße verwendet werden muss. Die Funktion dieses Differenzdruckregelventils 35, das eine hydraulische Verbindung zwischen den beiden Kammern 22 und 23 wahlweise zulässt, ist nachstehend unter Bezugnahme auf Fig. 3 nochmals erläutert.

**[0063]** Fig. 3 zeigt einen Abschnitt einer Hydraulikzylinderbaugruppe 1 gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel mit digitalhydraulischen Druckreglern 3, einem Differenzdruckregelventil 35, einem hydraulischen Differentialzylinder 2, einer integrierten Hydraulikpumpe 4 und einem Tank 6, und einem Druckspeicher 5 in einem schematischen Schaltbild.

**[0064]** Ein Versorgungsabschnitt mit dem Druckspeicher 5, der Hydraulikpumpe 4 und dem Tank 6 versorgt die vier Druckregler 3 zum Betrieb des Differentialzylinders 2. Sensoren erfassen den Druck in den beiden Druckkammern 22 und 23 des Differentialzylinders 2, die durch den Kolben 27 mit der Kolbenstange 28 getrennt sind. Mit den Druckreglern 3 können Füllmenge und Druck in den beiden Druckkammern 22 und 23 eingestellt werden, damit die Kolbenstange 28 in der gewünschten Stellung und mit der gewünschten Kraft mit einem daran angeschlossenen Maschinenelement (nicht gezeigt) zusammenwirkt.

**[0065]** Der Druck in dem Druckversorgungsabschnitt, von dem ausgehend der Zylinder 2 zu steuern ist, wird mittels eines Drucksensors 41 gemessen und davon ausgehend wird der Soll-druck in den Druckkammern 22 und 23 eingestellt.

**[0066]** In der Fig. 3 weist im Unterschied zu dem Aufbau der Hydraulikbaugruppe 1 von Fig. 1 jeder der vier digitalhydraulischen Druckregler 3 sechs statt fünf Digitalventile 31 auf. Die zu den digitalhydraulischen Ventilen 31 zugehörigen Drosselelemente 34 weisen unterschiedliche Drosselöffnungen auf, d.h. die Drosseldurchmesser stehen im Verhältnis 0,3:0,4:0,6:0,8:1,1:1,5 mm zueinander.

**[0067]** Des Weiteren ist die Hydraulikpumpe 4, die durch einen Elektromotor antreibbar ist, als eine in die Baugruppe integrierte Pumpe und der Tank (Öltank bzw. Arbeitsfluidtank) 6 innerhalb der Baugruppe 1 angebracht (integriert), die durch die strichpunktierte Linie in Fig. 3 dargestellt ist. Die Pumpe 4 dient dazu, das Arbeitsfluid mit ausreichend hohem Druck für die digitalhydraulischen Druckregler 3 bereitzustellen bzw. den Druck in einem Druckspeicher 5 aufrechtzuerhalten, der nicht in die Baugruppe 1 integriert ist. Da die Pumpe mit dem Druckspeicher 5 hydraulisch verbunden ist, ist ein Betrieb der Pumpe 4 nur erforderlich, um den Druck in dem Druckspeicher 5 wieder auf ein bestimmtes Druckniveau zu heben. Somit kann die meiste Zeit ein Druck für die digitalhydraulischen Druckregler 3 aus dem Druckspeicher 5 bereitgestellt werden, ohne dass die Pumpe 4 durch den Elektromotor betrieben wird.

**[0068]** Somit sind die Druckregler 3, die Pumpe 4 mit ihrem Elektromotorantrieb und der Tank 6 als ein separater Block an dem Zylindergehäuse 21 angeordnet, und die Druckregler sind über Hydraulikleitungen 34 direkt mit der zylinderkopfseitigen Kammer 22 bzw. der zylinderbodenseitigen Kammer 23 hydraulisch verbunden. Vorkammern sind in diesem Ausführungsbeispiel nicht vorgesehen.

**[0069]** Durch ein entsprechend nahes Anordnen der Druckregler 3, der Pumpe 4 und des Tanks 6 an dem Zylinder 2 sind keine langen Hydraulikleitungen erforderlich.

**[0070]** Ferner ist zwischen den beiden Kammern 22, 23 in dem Hydraulikkreis der Hydraulikzylinderbaugruppe 1 eine Verbindungsleitung mit dem Differenzdruckregelventil 35 angeschlossen, das im geschlossenen Zustand die Druckkammern 22, 23 voneinander trennt. Wenn das Differenzdruckregelventil 35 öffnet, sind die beiden Druckkammern miteinander verbunden oder kurzgeschlossen. In der Regel liegt an der Kolbenstange 28 eine Last oder Kraft an, die bestrebt ist, die Kolbenstange 28 in den Zylinder 2 hineinzudrücken. Soll nun die Kolbenstange 28 der Last folgend in den Zylinder 2 eingezogen werden, wie dies beispielsweise beim Öffnen eines Walzenspalts auftritt, so wird das Differenzdruckregelventil 35 geöffnet und die Digitalventile 31 der zu der zylinderbodenseitigen Kammer 23 korrespondierenden Druckregler 3 bleiben geschlossen. Das Arbeitsfluid strömt also zum Teil in die zylinderkopfseitige Kammer 22 und teilweise in den Tank 6. Der Abfluss in den Tank wird von zu den zylinderkopfseitigen Kammer 22 korrespondierenden Druckreglern 3 gesteuert und damit wird die Absenkgeschwindigkeit der Kolbenstange 27 kontrolliert.

**[0071]** Weil das Arbeitsfluid im Kurzschluss geführt wird, um die zylinderbodenseitige Druckkammer 23 zu füllen, muss diese Arbeitsfluidmenge nicht aus dem Druckversorgungsabschnitt entnommen werden. Das Arbeitsfluid muss also nicht zunächst von der Pumpe 4 gefördert und auf hohen Druck gebracht werden, um dann mit heruntergeregeltem Druck in die Druckkammer 23 eingespeist zu werden. Insgesamt ist das von der Pumpe 4 zu bewegendes Volumen reduziert, wodurch Energie eingespart wird.

**[0072]** Weil ferner die zu der zylinderbodenseitigen Kammer 23 korrespondierenden Druckregler 3 ausgeschaltet bleiben, entfällt hier der Rechnungs- und Steuerungsaufwand. Dies halbiert den Berechnungsaufwand und die Rechenleistung für die Regler 3 und spart zudem die Antriebsenergie für die Betätigung deren Ventile 31 ein.

**[0073]** Üblicherweise wird, wie in diesem Ausführungsbeispiel gezeigt ist, die Pumpe 4 durch einen Elektromotor angetrieben. Da in diesem Ausführungsbeispiel die Pumpe 4 die meiste Zeit nicht gebraucht wird, um einen Druck in den digitalhydraulischen Druckregler 3 bereitzustellen, kann diese oft ausgeschaltet bleiben, wodurch der Energieverbrauch zum Betreiben der Pumpe 4 (ein Betrieb des Elektromotors) beträchtlich gesenkt werden kann. Durch diese Anordnung ist eine Energiesparung von mehr als 99% im Vergleich zu Regelventilen möglich, welche ein Hydraulikstellglied mit einem verschiebbaren Steuerschieber oder Steuerkolben analog hydraulisch verstellen.

**[0074]** Gemäß diesem Beispiel kann daher die Hydraulikzylinderbaugruppe 1 zur Steuerung eines Spalts eines Papiermaschinenkalenders verwendet werden. Der Spalt wird geschlossen, wenn der Kolben 27 des Zylinders 2 in Richtung der zylinderkopfseitigen Kammer 22 gedrängt wird. Wenn der Kolben 3 an seiner untersten Position in der zylinderbodenseitigen Kammer 23 angeordnet ist, ist der Walzenspalt vollständig geöffnet und in der höchstgelegenen Position in der zylinderkopfseitigen Kammer 22 ist der Walzenspalt vollständig geschlossen. Zum Öffnen des Walzenspalts ist keine Energiebeaufschlagung erforderlich, da durch entsprechende Regelung der Digital- und Differenzdruckregelventile 35 ein Teil des Öls in der zylinderbodenseitigen Kammer 23 zu der zylinderkopfseitigen Kammer 22 des Hydraulikzylinders 2 über die Differenzdruckregelventile 35 geführt wird bzw. ein Teil zurück zu dem Tank 4 geführt wird.

**[0075]** Bei dieser Druckregelung in den Kammern 22, 23 der Hydraulikzylinderbaugruppe 1 ist eine geringe Menge an Öl erforderlich, wodurch es möglich ist, dass eine Ölströmung nur während der Schließbewegung des Walzenspalts erforderlich ist, d.h. es ist nur während des Schließens des Walzenspalts erforderlich, dass von dem Druckspeicher 5 bzw. durch einen Betrieb der Pumpe 4 Öl in den Ölkreis der Hydraulikzylinderbaugruppe 1 eingespeist wird.

**[0076]** Fig. 4 zeigt im Wesentlichen den gleichen Aufbau wie das Ausführungsbeispiel in Fig. 2 der Hydraulikzylinderbaugruppe 1, bei der die digitalhydraulischen Druckregler 3 und die Differenzdruckregelventile 35 unmittelbar an dem Zylinderhülle 29 angebracht sind. Des Weiteren

umfasst in diesem Ausführungsbeispiel die Hydraulikzylinderbaugruppe 1 auch die Pumpe 4, den Tank 6 sowie den Druckspeicher 5. D.h. die Pumpe 4, der Tank 6 und der Druckspeicher 5 sind in die Baugruppe 1 integriert, die durch die äußeren strichpunktierten Linien schematische dargestellt ist. Somit können in diesem Ausführungsbeispiel die Hydraulikleitungen zwischen den einzelnen Bauteilen der Baugruppe 1 weiter verkürzt werden.

**[0077]** In Fig. 5 ist ein weiteres erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel der Hydraulikzylinderbaugruppe 1 mit digitalhydraulischen Druckreglern 3 schematisch gezeigt, deren Ventile 31, 35 und Drosselemente 34 in dem Kolben 27 des Hydraulikzylinders 2 angeordnet sind. Die Funktionsweise dieser Hydraulikzylinderbaugruppe 1 ist gleich wie die, die vorstehend bei den Ausführungsbeispielen von Fig. 1 bis 4 beschrieben ist.

**[0078]** Im Gegensatz zu dem konstruktiven Aufbau der Hydraulikzylinderbaugruppe 1 der vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele von Fig. 1 bis 4 ist bei dieser Hydraulikzylinderbaugruppe der Kolben 27 ein hin- und herbewegbarer doppeltwirkender, hohler Kolben mit einer hohlen Kolbenstange vorgesehen. Im Kopf dieses hohlen Kolbens 27 sind die Ventile 31 und Drosselemente 34, die vorstehend ausführlich beschrieben sind, angeordnet. Die hydraulische und die elektrische Leitungsführung der digitalhydraulischen Druckregler 3 sind durch die hohle Kolbenstange 28 hindurch zu den jeweiligen parallel geschalteten Ventilen 31 des digitalhydraulischen Druckreglers 3 geführt. In diesem Ausführungsbeispiel sind die Volumina der zylinderkopfseitigen Kammer 22 und der zylinderbodenseitigen Kammer 23 im Wesentlichen gleich groß.

**[0079]** Bei dieser Bauform des Kolbens 27 ist ferner sichergestellt, dass die Ventile 31 der hydraulischen Druckregler 3 derart in dem Kolben eingebaut sind, dass deren Auslässe A, B direkt zu der zylinderkopfseitigen Kammer 22 und der zylinderbodenseitigen Kammer 23 des Hydraulikzylinders 2 zugeordnet sind, so dass die Kolbenstange 28 letztlich eine Stellung einnimmt, die im Wesentlichen von der durch die Druckregler 3 eingestellten Differenz der Drücke in der zylinderkopfseitigen Kammer 22 und der zylinderbodenseitigen Kammer 23 des Hydraulikzylinders 2 abhängt.

**[0080]** Ferner ist, wie bereits in dem Ausführungsbeispiel von Fig. 4 gezeigt ist, der Druckspeicher 5 sowie die Pumpe 4, die durch einen Elektromotor angetrieben wird, und der Öltank 6 mit den jeweiligen parallel geschalteten Ventilen 31 und Drosselementen 34 hydraulisch verbunden. Für die Ventile 31 kann hier beispielsweise ein Hydraulikdigitalventil bereitgestellt sein (z.B. ein Ventil von Matrix der 750-Serie).

**[0081]** Bei diesem Aufbau der Hydraulikzylinderbaugruppe 1 kann durch die Anordnung der Druckregler 3 in dem Kolben 27 ebenfalls auf die Zylinderhülle und somit auf die Vorkammern bei der Gestaltung des Zylindergehäuses 21 verzichtet werden.

**[0082]** Diese Art der Hydraulikzylinderbaugruppe 1 gemäß dem Ausführungsbeispiel von Fig. 5 wird beispielsweise bei Stellzylindern in Mehrwalzenkalandern verwendet.

**[0083]** Weitere Ausführungsbeispiele gemäß der vorliegenden Erfindung sind in den Fig. 6 und 7 gezeigt. Fig. 6 zeigt einen Abschnitt einer Hydraulikzylinderbaugruppe mit digitalhydraulischen Druckreglern, einem Differenzdruckregelventil und einem hydraulischen Differentialzylinder, und einen Druckspeicher in einem schematischen Schaltbild. Fig. 7 zeigt einen Abschnitt einer Hydraulikzylinderbaugruppe mit digitalhydraulischen Druckreglern, einem Differenzdruckregelventil, einem hydraulischen Differentialzylinder und einem Richtungssteuerungsventil, und einen Druckspeicher in einem schematischen Schaltbild.

**[0084]** Bei diesen beiden Ausführungsbeispielen gemäß Fig. 6 und 7 ist ebenfalls das Differenzdruckregelventil 35 zwischen der zylinderkopfseitigen Kammer 22 und der zylinderbodenseitigen Kammer 23 angeordnet, um eine hydraulische Verbindung zwischen diesen beiden Kammern bereitzustellen, insbesondere während der Kolben 27 eine rasche Bewegung ausführen soll.

**[0085]** Gemäß der Darstellung von Fig. 6 besteht die Hydraulikzylinderbaugruppe 1 (siehe strichpunktierte Linie) aus zwei digitalhydraulischen Druckreglern 3, dem Differenzdruckregel-

ventil 35, zwei zu den digitalhydraulischen Druckreglern 3 zugehörigen Digitalventilen 36 und dem hydraulischen Differentialzylinder 2. Der Druckspeicher 5 ist mit der Baugruppe 1 hydraulisch verbunden.

**[0086]** Mit den beiden Druckreglern 3 in Fig. 6 werden die Drücke und Füllvolumina der Druckkammern 22, 23 des Differentialzylinders 2 geregelt; dies wurde zuvor mit einem anderen Regleraufbau ausführlich erläutert, so dass eine Wiederholung hier unterbleibt.

**[0087]** Die beiden Druckregler 3 haben jeweils fünf Digitalventile 31, die innerhalb des jeweiligen Reglers parallel geschaltet sind; die Regler 3 können den gleichen Aufbau haben, wie in den zuvor ausführlich erläuterten Druckreglern der vorangegangenen Ausführungsbeispiele.

**[0088]** Die Druckregler 3 haben einen Aufbau wie die unter Bezugnahme auf Fig. 2, 3 und 4 beschriebenen Druckregler 3. Der in der Figur oben angeordnete Druckregler 3 ist mit einem Tank (nicht gezeigt) verbunden, während der untere Druckregler 3 mit dem Druckspeicher 5 verbunden ist. Der somit mit Druck beaufschlagte, untere Regler 3 kann Arbeitsfluid in die angeschlossene Druckkammer 22 des Zylinders 3 liefern, während Arbeitsfluid aus der anderen Druckkammer 21 über den oberen Regler 3 in den Tank abfließen kann.

**[0089]** Wenn z.B. das Differenzdruckregelventil 35 geschlossen ist, kann der Druck der zylinderbodenseitigen Kammer 23 zum Erzeugen von größeren Kräften eingestellt werden. Somit wird dann der in der zylinderkopfseitigen Kammer 22 wirkende Druck zu dem Tank über ein Abgabeventil abgegeben (nicht gezeigt). Durch die hydraulische Kopplung der beiden Kammern mittels des Differenzdruckregelventils 35 wird, wenn der Kolben 27 in Richtung der zylinderbodenseitigen Kammer 23 gedrängt wird, das Arbeitsfluid über das Differenzdruckregelventil 35 direkt zu der zylinderkopfseitigen Kammer 22 zugeführt, wodurch ein Volumenstrom des Arbeitsfluids durch die Digitalventile 31 und die Drosselemente 34 in den Druckreglern 3 zu dem Tank (nicht gezeigt) äußerst gering ist.

**[0090]** Wie in Fig. 7 gezeigt ist, kann durch die zusätzliche Verwendung eines Richtungssteuerungsventils 37 (d.h. 4/2-Wege Ventil) stromaufwärtig der Gruppe von Digitalventilen 31 die Anzahl der digitalhydraulischen Druckregler 3 auf einen verringert werden, wodurch sich auch die Gesamtanzahl von Digitalventilen 31, 35, 36 auf neun verringert. Das Richtungssteuerungsventil 37 kann den Durchfluss von Öl derart steuern, dass abwechselnd die Kammern 22, 23 mit Druck beaufschlagt werden können.

**[0091]** Bei beiden Ausführungsbeispielen der Hydraulikzylinderbaugruppe in Fig. 6 und 7 nimmt während der Bewegung des Kolbens 27 das Volumen der einen Druckkammer ab, während das Volumen der anderen Druckkammer zunimmt; es gibt dabei keine Betriebszustände in denen beide Druckkammern gleichzeitig mit Druck beaufschlagt werden oder beide gleichzeitig abgelenkt werden.

**[0092]** Mit dieser Anordnung von Druckregler kann die erforderliche Anzahl von Digitalventilen im Vergleich zu der Anordnung der Druckregler in den Ausführungsbeispielen von Fig. 1 bis 5 halbiert (Fig. 6) bzw. noch weiter verringert (Fig. 7) werden. Damit können die Investitionskosten für die Maschine zur Herstellung einer Faserstoffbahn, insbesondere eine Papier- oder Kartonmaschine, weiter gesenkt werden.

## Patentansprüche

1. Hydraulikzylinderbaugruppe (1) für eine Maschine zur Herstellung einer Faserstoffbahn, insbesondere eine Papier- oder Kartonmaschine, mit  
  
einem Hydraulikzylinder (2), der ein Zylindergehäuse (21) und einen in dem Zylindergehäuse (21) beweglichen Kolben (27) umfasst, der das Zylindergehäuse (21) in eine zylinderkopfseitige Kammer (22) und eine zylinderbodenseitige Kammer (23) unterteilt, und  
  
mindestens einem digitalhydraulischen Druckregler (3), der in die Baugruppe (1) integriert ist, der der zylinderkopfseitigen Kammer (22) und der zylinderbodenseitigen Kammer (23) zugeordnet ist, und der einen Zu- und Abfluss von Arbeitsfluid zu und von den Kammern (22, 23) steuert, um den Druck des Arbeitsfluids in mindestens einer der beiden Kammern (22, 23) des Hydraulikzylinders (2) einzustellen, **dadurch gekennzeichnet**, dass  
  
Ventile (31) des digitalhydraulischen Druckreglers (3) in dem Kolben (27) des Hydraulikzylinders (2) angebracht sind.
2. Hydraulikzylinderbaugruppe (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kolben (27) ein hin- und herbewegbarer Kolben (27) mit Kolbenstange (28) ist.
3. Hydraulikzylinderbaugruppe (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der digitalhydraulische Druckregler (3) ein Differenzdruckregelventil (35) umfasst, das eine direkte hydraulische Verbindung zwischen der zylinderkopfseitigen Kammer (22) und der zylinderbodenseitigen Kammer (23) schaltet und einen Durchfluss von Arbeitsfluid zwischen der zylinderkopfseitigen Kammer (22) und der zylinderbodenseitigen Kammer (23) steuert.
4. Hydraulikzylinderbaugruppe (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kolben (27) ein hin- und herbewegbarer hohler Kolben mit hohler Kolbenstange ist.
5. Hydraulikzylinderbaugruppe (1) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem hohlen Kolben die Ventile (31) des digitalhydraulischen Druckreglers (3) angeordnet sind und die hydraulische und elektrische Leitungsführung des digitalhydraulischen Druckreglers (3) durch die Kolbenstange hindurch zu den Ventilen (31) geführt ist.
6. Hydraulikzylinderbaugruppe (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Baugruppe (1) des Weiteren eine integrierte Pumpe (4) umfasst, um das Arbeitsfluid mit ausreichend hohem Druck für den digitalhydraulischen Druckregler (3) bereitzustellen.
7. Hydraulikzylinderbaugruppe (1) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pumpe (4) unmittelbar an dem Hydraulikzylinder (2) angebracht ist.
8. Hydraulikzylinderbaugruppe (1) nach Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pumpe (4) ferner das Arbeitsfluid mit hohem Druck in einen mit dem digitalhydraulischen Druckregler (3) hydraulisch verbindbaren Druckspeicher (5) einspeist und diesen mit Druck beaufschlagt.

Hierzu 7 Blatt Zeichnungen



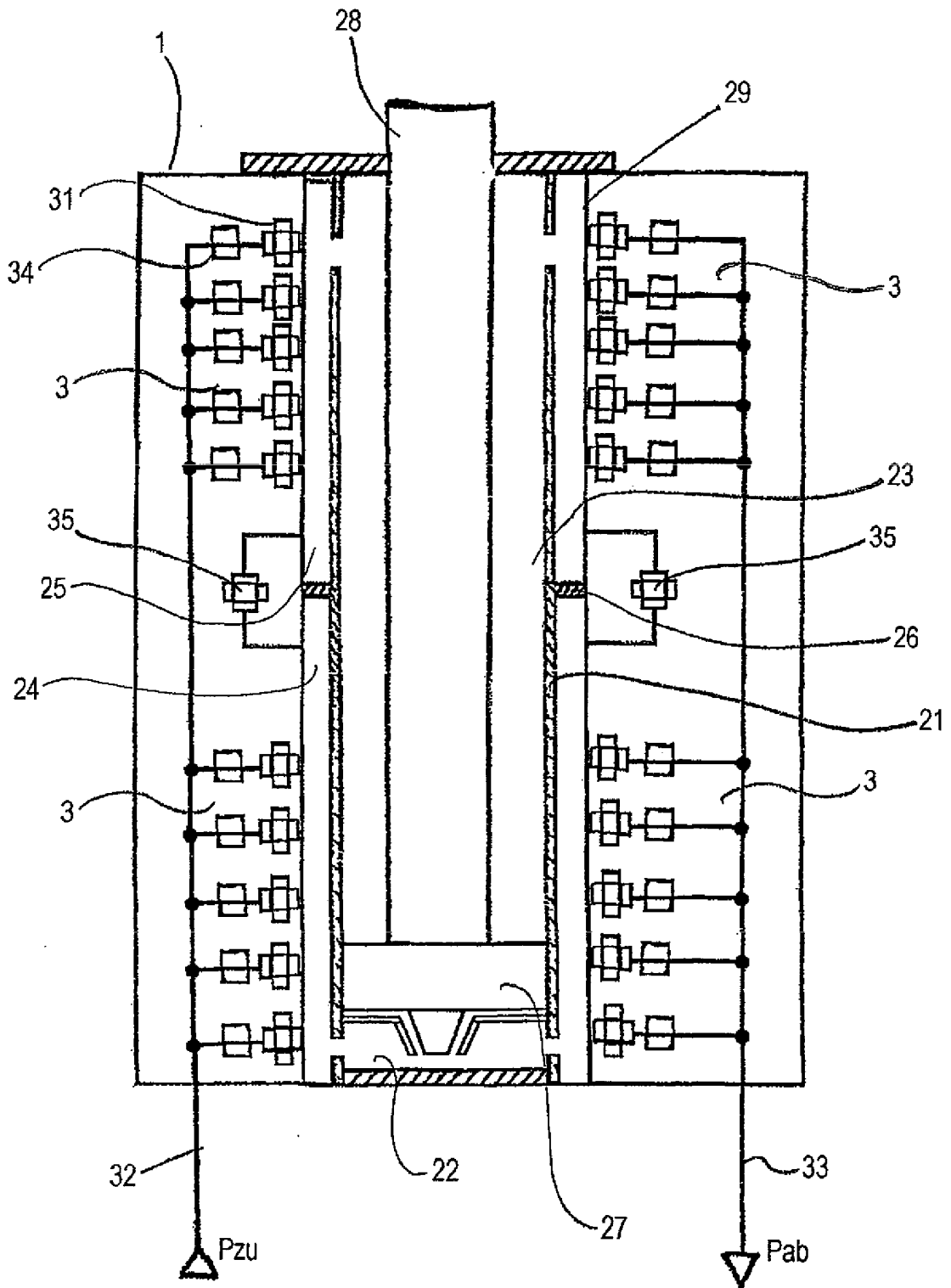


FIG. 2

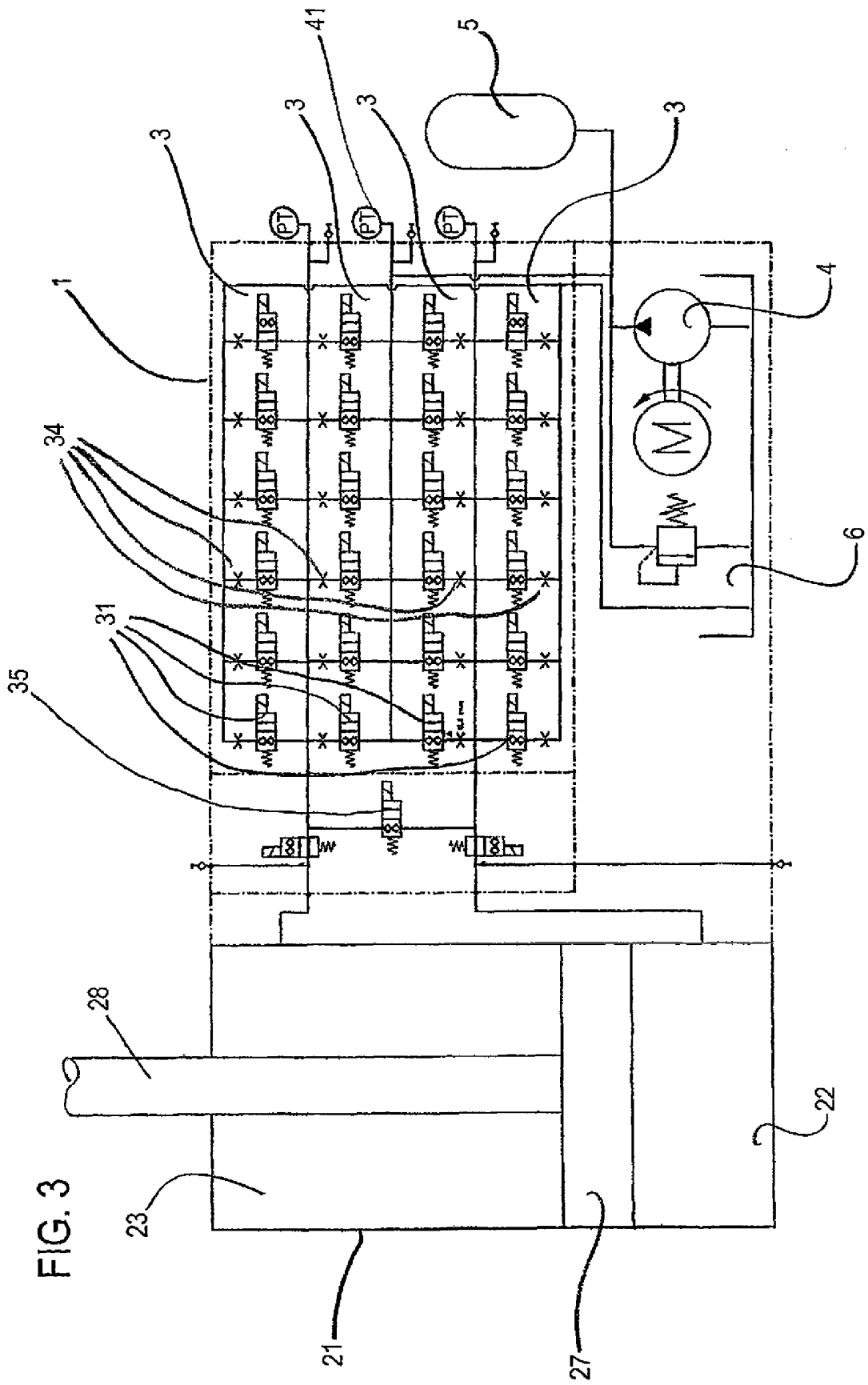


FIG. 3

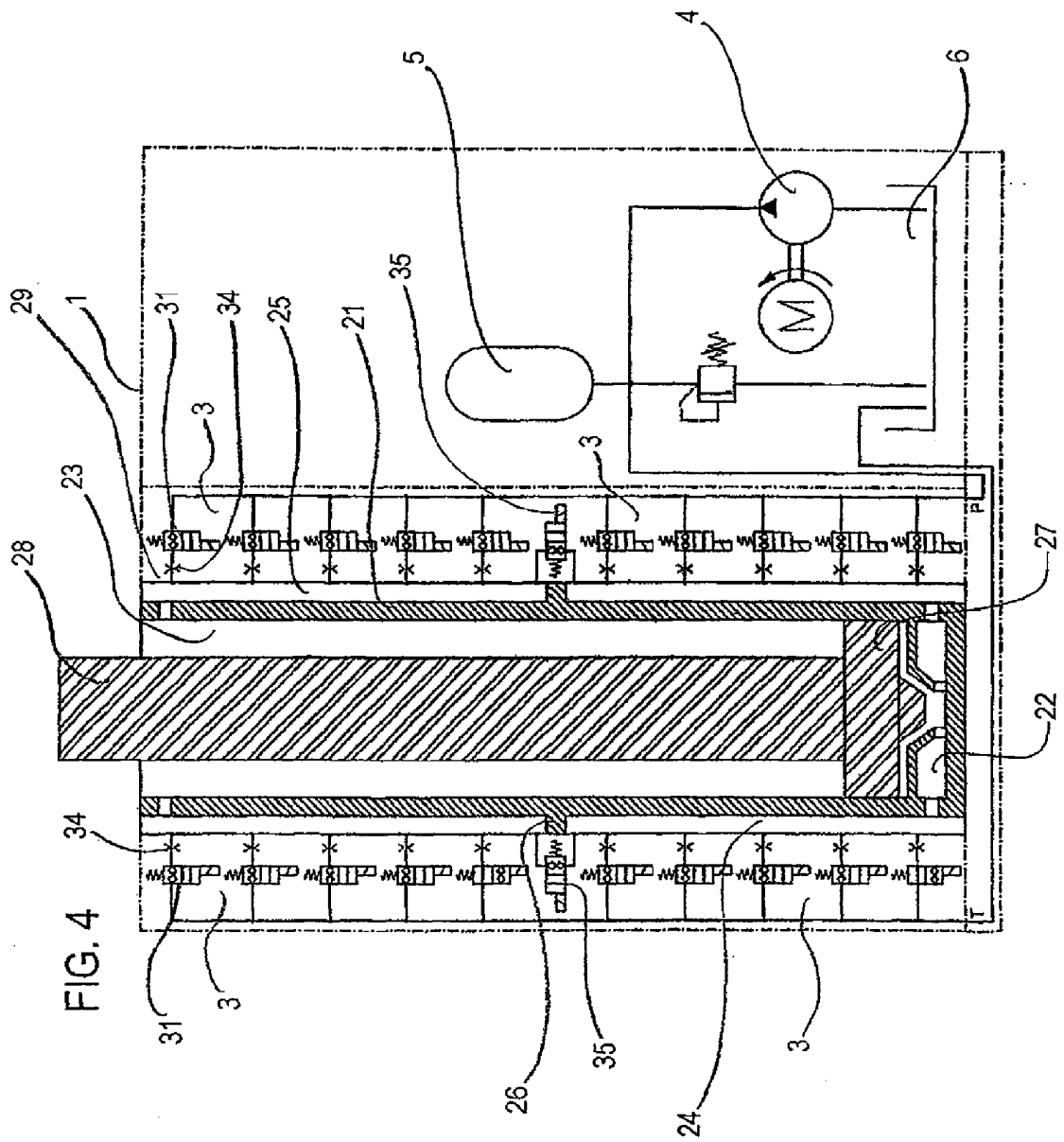
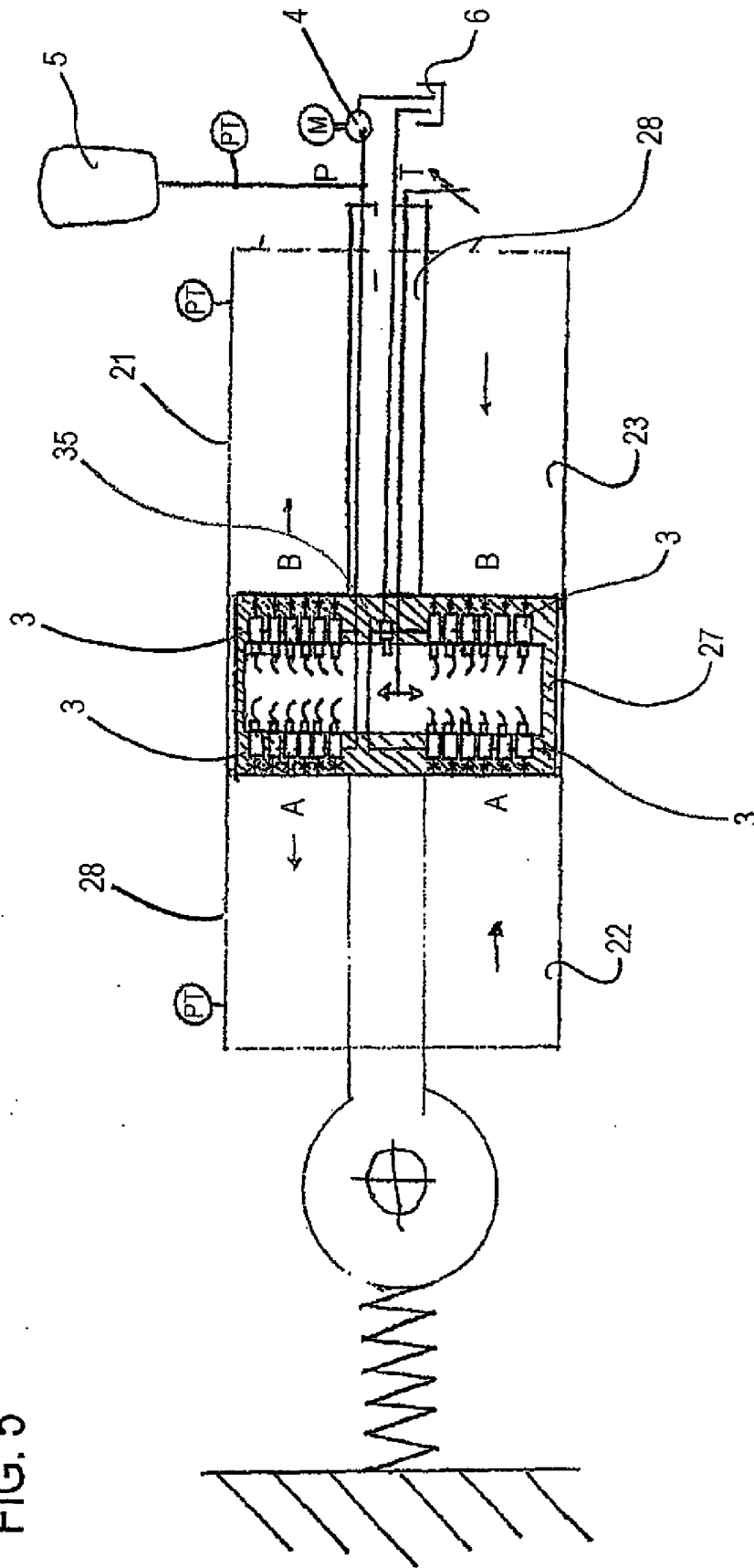


FIG. 5



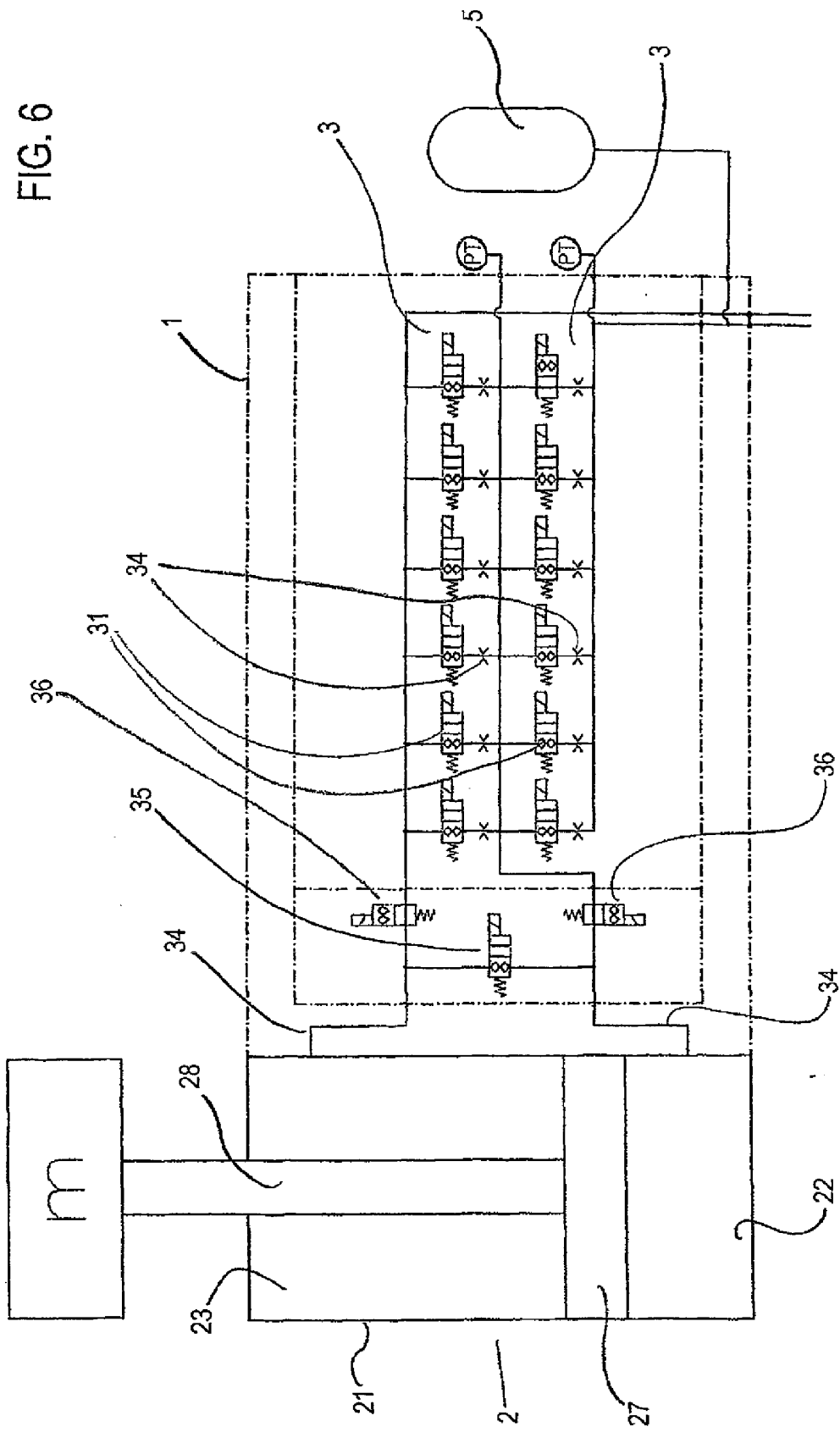


FIG. 7

