

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 835 381 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

10.02.1999 Patentblatt 1999/06

(21) Anmeldenummer: **96943027.1**

(22) Anmeldetag: **03.12.1996**

(51) Int Cl.⁶: **F04B 43/04, F04B 43/00**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP96/05382

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 97/21924 (19.06.1997 Gazette 1997/26)

(54) **FLUIDPUMPE**

FLUID PUMP

POMPE A FLUIDE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT CH DE FR GB LI

(30) Priorität: **13.12.1995 DE 19546570**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
15.04.1998 Patentblatt 1998/16

(73) Patentinhaber:
**HAHN-SCHICKARD-GESELLSCHAFT FÜR
ANGEWANDTE FORSCHUNG E.V.
D-78052 Villingen-Schwenningen (DE)**

(72) Erfinder:
• **ZENGERLE, Roland
D-80337 München (DE)**

• **STEHR, Manfred
D-78054 Villingen-Schwenningen (DE)**
• **MESSNER, Stephan
D-78054 Villingen-Schwenningen (DE)**

(74) Vertreter: **Schoppe, Fritz, Dipl.-Ing.
Schoppe & Zimmermann
Patentanwälte
Postfach 71 08 67
81458 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A- 0 134 614 EP-A- 0 435 653
WO-A-94/24437 DE-C- 4 223 019
DE-C-19 534 378 FR-A- 2 478 220**

EP 0 835 381 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Fluidpumpe, d.h. eine Pumpe für Flüssigkeiten und Gase.

[0002] Es ist bekannt, zum Transport von Fluiden Verdrängerpumpen zu verwenden, die aus einem periodischen Verdränger, einem Kolben oder einer Membran, und zwei passiven Rückschlagventilen bestehen. Durch die periodische Bewegung des Kolbens oder der Membran wird Fluid durch das Einlaßventil in eine Pumpkammer angesaugt, bzw. durch das Auslaßventil aus der Pumpkammer verdrängt. Diese bekannten Pumpen sind durch die Verwendung der Ventile aufwendig. Ferner ist die Transportrichtung durch die Anordnung der Ventile vorgegeben. Soll bei einer derartigen Anordnung die Pumprichtung umgekehrt werden, ist bei solchen bekannten Pumpen eine mit einem hohen Aufwand verbundene, externe Umsteuerung der Ventile notwendig. Derartige Pumpen sind beispielsweise bei Jaroslav und Monika Ivantysyn; Hydrostatische Pumpen und Motoren; Vogel Buchverlag, Würzburg, 1993, gezeigt.

[0003] Entsprechende Pumpen, die eine geringe Baugröße aufweisen und geringe Pumpströme liefern, bezeichnet man als Mikropumpen. Die Verdränger solcher Pumpen sind typischerweise als Membran ausgeführt, siehe P. Gravesen, J. Branebjerg, O. S. Jensen; Microfluidics - A review; Micro Mechanics Europe Neuchatel, 1993, Seiten 143 - 164. Die Verdränger können durch unterschiedliche Mechanismen angetrieben werden. Bei H.T.G. Van Lintel, F.C.M. Van de Pol, S. Bouwstra, A Piezoelectric Micropump Based on Micromachining of Silicon, Sensors & Actuators, 15, Seiten 153 - 167, 1988, S. Shoji, S. Nakagawa and M. Esashi, Micropump and sample injector for intrgrated chemical analyzing systems; Sensors and Actuators, A21-A23 (1990) Seiten 189 - 192, E. Stemme, G. Stemme; A valveless diffuser/nozzle-based fluid pump; Sensors & Actuators A, 39 (1993) 159 - 167, und T. Gerlach, H. Wurmus; Working principle and performance of the dynamic micropump; Proc. MEMS'95; (1995), Seiten 221 - 226; Amsterdam, The Netherlands, sind piezoelektrische Antriebsmechanismen gezeigt. Thermopneumatische Mechanismen zum Antreiben der Verdränger sind bei F.C.M. Van de Pol, H.T.G. Van Lintel, M. Elwenspoek and J.H.J. Fluitman, A Thermopneumatic Micropump Based on Micro-engineering Techniques, Sensors & Actuators, A21-A23, Seiten 198 - 202, 1990, B. Büstgens, W. Bacher, W. Menz, W. K. Schomburg; Micropump manufactured by thermoplastic molding; Proc. MEMS'94; (1994), Seiten 18 - 21, gezeigt. Ein elektrostatischer Mechanismus ist bei R. Zengerle, W. Geiger, M. Richter, J. Ulrich, S. Kluge, A. Richter; Application of Micro Diaphragm Pumps in Microfluid Systems; Proc. Actuator '94; 15. - 17.6.1994; Bremen, Germany; Seiten 25 - 29, gezeigt. Ferner können die Verdränger thermomechanisch oder magnetisch angetrieben werden.

[0004] Wie ebenfalls in den oben genannten Schriften gezeigt ist, können als Ventile entweder passive Rückschlagventile oder spezielle Strömungsdüsen verwendet werden, die jeweils aufwendig sind. Die Förderrichtung von Mikropumpen kann ohne eine Zwangssteuerung der Ventile allein durch eine Ansteuerung mit einer Frequenz oberhalb der Resonanzfrequenz der Ventile umgekehrt werden. Dazu seien R. Zengerle, S. Kluge, M. Richter, A. Richter; A Bidirectional Silicon Micropump; Proc. MEMS'95; Amsterdam, Niederlande; Seiten 19-24, J. Ulrich, H. Füller, R. Zengerle; Static and dynamic flow simulation through a KOH-etched micro valve; Proc. TRANSDUCERS '95, Stockholm, Sweden, (1995), Seiten 17 - 20, betrachtet. Die Ursache dieses Effekts ist eine Phasenverschiebung zwischen der Bewegung des Verdrängers und dem Öffnungszustand der Ventile. Ist die Phasendifferenz größer als 90°, so ist der Öffnungszustand der Ventile antizyklisch zu deren Zustand im normalen Vorwärtsmodus und die Pumprichtung ist umgedreht. Eine externe Umsteuerung der Ventile, wie sie bei makroskopischen Pumpen notwendig ist, entfällt. Die entscheidende Phasendifferenz zwischen dem Verdränger und den Ventilen hängt dabei einerseits von der Antriebsfrequenz der Pumpe und andererseits von der Resonanzfrequenz des beweglichen Ventils in der Fluidumgebung ab.

[0005] Ein Nachteil dieser Ausführungsform besteht darin, daß bei der Ausführung der Ventile ein Kompromiß zwischen deren mechanischer Resonanz in der Fluidumgebung, deren Strömungswiderstand, deren fluidischer Kapazität, d.h. der elastischen Volumenverformung, deren Baugröße und deren mechanischer Stabilität gefunden werden muß. Diese Parameter, die alle jeweils Auswirkungen auf die Pumpdynamik haben, können also nicht unabhängig voneinander auf ein Optimum eingestellt werden und stehen zum Teil einer erwünschten, weiteren Miniaturisierung der Pumpabmessungen entgegen.

[0006] Generell nachteilig bei der Verwendung von Pumpen mit passiven Rückschlagventilen ist ferner die Tatsache, daß die Pumpen im ausgeschalteten Zustand das zu fördernde Medium nicht sperren. Übersteigt der Eingangs- den Ausgangsdruck um die Vorspannung der Ventile, so durchfließt das zu pumpende Medium die Pumpe.

[0007] Mikropumpen, die spezielle Strömungsdüsen verwenden, besitzen den Nachteil, daß sie einen sehr geringen maximalen Pumpwirkungsgrad im Bereich von den 10 - 20% aufweisen.

[0008] Aus der nachheröffentlichten DE 19534378 C ist eine Fluidpumpe bekannt, die einen Pumpenkörper, einen Verdränger und einen elastischen Puffer aufweist. Der Verdränger verschließt in einer ersten Endstellung einen in dem Pumpenkörper angeordneten Einlaß und läßt in einer zweiten Endstellung den in dem Pumpenkörper angeordneten Einlaß offen. Die bekannte Pumpe ermöglicht einen Nettofluß durch einen ebenfalls in dem Pumpenkörper angeordneten Auslaß. Die an die durch den Verdränger und den Pumpenkörper gebildete Pumpkammer angrenzende Puffereinrichtung macht die bekannte Fluidpumpe aufwendig.

[0009] Esashi, Shoji und Nakano beschreiben in dem Artikel "Normally closed microvalve and micropump fabricated

on a silicon wafer", Sensors and Actuators 20 (1989), S. 163 - 169, ein Gas-Mikroventil, daß im normalen Zustand geschlossen ist. Das Ventil besteht aus einer Glasplatte, in der eine Gasauslaßöffnung angeordnet ist, die mittels einer durch einen piezoelektrischen Antrieb betreibbaren Silizium-Mesa-Struktur, die mit einem Ventilsitz versehen ist, verschließbar ist. Die Siliziumschicht, in der die Silizium-Mesa-Struktur gebildet ist, und die Glasplatte definieren ferner einen durchgehenden Kanal zwischen der Gasauslaßöffnung und einer Gaseinlaßöffnung, die in der Siliziumschicht gebildet ist. In der oben genannten Schrift ist ferner eine Membrantyp-Mikropumpe beschrieben, die aus zwei Einweg-

ventilen und einer Membran mit einem piezoelektrischen Antrieb besteht.
[0010] Die DE 42 23 019 C offenbart eine Fluidpumpe mit einem Pumpenkörper, einem Verdränger, wobei der Verdränger und der Pumpenkörper derart ausgebildet sind, daß zwischen denselben eine Pumpkammer gebildet ist, die eine Einlaßöffnung und eine Auslaßöffnung aufweist, wobei die Einlaßöffnung und die Auslaßöffnung nicht mit Rückschlagventilen versehen sind, einer Antriebsvorrichtung, die den Verdränger periodisch in eine erste und eine zweite Endstellung positioniert.

[0011] Ausgehend von dem genannten Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine effiziente Fluidpumpe mit einem einfachen Aufbau zu schaffen.

[0012] Diese Aufgabe wird durch eine Fluidpumpe gemäß Patentanspruch 1 gelöst.

[0013] Die vorliegende Erfindung schafft eine Fluidpumpe mit einem Pumpenkörper und einem Verdränger, der mittels eines Antriebs periodisch in eine erste und eine zweite Endstellung positionierbar ist, wobei der Verdränger und der Pumpenkörper derart ausgebildet sind, daß zwischen denselben eine Pumpkammer gebildet ist, die eine Einlaßöffnung und eine Auslaßöffnung aufweist. Der Verdränger verschließt die Auslaßöffnung, wenn er in der ersten Endstellung ist, und läßt die Auslaßöffnung offen, wenn er in der zweiten Endstellung ist. Wenn sich der Verdränger von der ersten in die zweite Endstellung bewegt, öffnet er im Bereich der Auslaßöffnung einen Durchströmungsspalt zwischen dem Pumpenkörper und dem Verdränger. Vorzugsweise ist der Pumpenkörper in der Form einer Platte, die die Einlaß- und die Auslaß-Öffnung aufweist, ausgebildet, während der Verdränger eine Ausnehmung aufweist, die die Pumpkammer definiert.

[0014] Der Pumpwirkungsgrad ist durch eine Anpassung der Querschnittsflächen der Einlaß- und Auslaß-Öffnung, sowie durch eine Steuerung des Zeitablaufs des Treibens des Verdrängers in die erste und die zweite Endstellung optimierbar. Das Treiben des Verdrängers kann dabei durch einen piezoelektrischen Biegewandler, eine aufgeklebte Piezoplatte oder auch elektrostatisch erfolgen.

[0015] Eine Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung weist einen einfachen Aufbau auf, der aus nur einem einzigen strukturierten Siliziumchip bestehen kann. Dadurch können Kosten bei der Bearbeitung der Siliziumteile sowie Kosten bei der Montage gespart werden. Eine weitere Kosteneinsparung ergibt sich durch die Herstellung einer erfindungsgemäßen Pumpe aus Kunststoff mittels feinwerktechnischer Verfahren, beispielsweise Spritzguß, usw.

[0016] Der Verdränger der erfindungsgemäßen Fluidpumpe wird mit einer Treiberspannung angesteuert, die eine solche Polung aufweist, daß der Verdränger angehoben wird. Nach dem Abschalten der Pumpe kann die Polung der Treiberspannung umgekehrt werden, wodurch die Auslaßöffnung mit einer definierten hohen Anpreßkraft geschlossen ist. Dadurch stellt die Auslaß-öffnung zusammen mit dem Verdränger ein aktives Ventil dar, welches einen wesentlichen Vorteil gegenüber passiven Ventilen darstellt. Durch das Einbringen eines kleinen Puffervolumens in die Pumpkammer kann ferner die Pumprichtung einer Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung umgekehrt werden, wodurch sich in den meisten Fällen ein Einsatz einer zweiten Pumpe erübrigt.

[0017] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 eine Querschnittsansicht eines Ausführungsbeispiels einer Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 2 den Druck in der Pumpkammer einer Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung während einer Saugphase und einer Druckphase;
- Fig. 3 einen Graph, der die Abhängigkeit des Flusses durch die Auslaßöffnung von der Spaltweite zeigt;
- Fig. 4a bis 4d Darstellungen der transienten Vorgänge, die bei der Fluidpumpe von Fig. 1 ablaufen;
- Fig. 5 die Abhängigkeit des Flusses durch Ein- und Auslaßöffnung bei einer unterschiedlichen Druckdifferenz;
- Fig. 6a bis 6c unterschiedliche Ansteuerspannungen zum Treiben des Verdrängers einer Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 7 einen Graph, der einen speziellen Druckverlauf in der Pumpkammer einer Pumpe gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt;
- Fig. 8, 9 und 10a bis 10d verschiedene Ausführungsbeispiele einer Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 11a bis 11d Darstellungen der transienten Vorgänge, die bei einer Fluidpumpe der vorliegenden

Fig. 12

Erfindung, die ein kleines Puffervolumen in der Pumpkammer aufweist, ablaufen; und eine Querschnittsansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels einer Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0018] In Fig. 1 ist ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel einer Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt. Die Pumpe weist einen Pumpenkörper 10 und einen Verdränger 12 auf. In dem Pumpenkörper ist eine Auslaßöffnung 14 mit einer Weite w und eine Einlaßöffnung 16 ausgebildet. Die Auslaßöffnung 14 sowie die Einlaßöffnung 16 können eine beliebige Form, beispielsweise quadratisch, rund, rechteckig oder ellipsoid, aufweisen. Der Verdränger 12 ist auf dem Pumpenkörper 10 befestigt und weist eine Ausnehmung auf, die zusammen mit dem Pumpenkörper 10 eine Pumpkammer 18 definiert. Der Pumpenkörper 10 und der Verdränger 12 können beispielsweise kreisförmig ausgebildet sein.

[0019] Der Verdränger 12 ist mittels eines Piezo-Biegewandlers 20, der aus Piezokeramik besteht, in eine erste und eine zweite Endstellung hin und her bewegbar. Der Piezo-Biegewandler 20 ist beispielsweise mittels eines Klebers 22 an dem Verdränger 12 befestigt. Der Verdränger 12 bildet an seinem mittleren, dickeren Abschnitt ein Ventil mit der Auslaßöffnung 14, wobei die Auslaßöffnung 14 in der ersten Endstellung des Verdrängers 12 geschlossen ist und in der zweiten Endstellung des Verdrängers 12 offen ist.

[0020] Wird eine Spannung an den Piezo-Biegewandler 20 angelegt, so bewegt sich der Verdränger 12 nach oben in die zweite Endstellung und öffnet die Auslaßöffnung 14. Schaltet man die Spannung wieder ab, so bewegt sich der Verdränger 12 nach unten in die erste Endstellung und verschließt die Auslaßöffnung 14. Die Einlaßöffnung, die als Blende ausgebildet sein kann, ist permanent geöffnet.

[0021] Es folgt eine allgemeine Betrachtung der Funktionsweise der Pumpe gemäß Fig. 1. Mit der Bewegung des Verdrängers 12 ändert sich sowohl ein Druck p in der Pumpkammer 18, als auch eine Spalthöhe h an der Auslaßöffnung 14. Die Strömung durch die Auslaßöffnung hängt von diesen beiden Faktoren, dem Druck p und der Spalthöhe h ab. Bei einer vereinfachten Betrachtung ergibt sich ein Durchfluß ϕ proportional zu ph^3 , wobei der Zusammenhang bei einer allgemeineren Betrachtung $p^x h^y$ mit beliebigen Zahlen x und y lautet.

[0022] Wenn die zeitliche Integration über die Strömung beim Öffnungs- bzw. Schließvorgang des Verdrängers 12 verschieden ist, ergibt sich bei periodischer Betätigung des Verdrängers 12 ein Nettofluidtransport in eine ausgezeichnete Pumprichtung durch die Auslaßöffnung 14. Dieser Nettofluidtransport kann durch eine mathematische Integration über den Durchfluß berechnet werden.

[0023] In Fig. 2 ist der zeitliche Druckverlauf in der Pumpkammer 18 bei einer Ansteuerung des Piezo-Biegewandlers 20 mit einer Rechteckspannung dargestellt. Bei anliegender Spannung ergibt sich zunächst ein Unterdruck in der Pumpkammer 18, der sich mit zunehmender Auslenkung des Verdrängers 12 wieder abbaut. Die Auslenkung des Verdrängers 12 entspricht der Spalthöhe h . Beim Ausschalten der Spannung, oder alternativ bei einer Spannungsumkehr, ergibt sich ein Überdruck in der Pumpkammer 18, der sich mit abnehmender Ablenkung des Verdrängers 12 wieder abbaut.

[0024] Die zeitabhängigen Strömungen durch die beiden Öffnungen in dem Pumpenkörper 10, die Auslaßöffnung 16 und die Einlaßöffnung 14, sind nun grundsätzlich verschieden. Während die Strömung durch die Einlaßöffnung 16 nur durch den Druckverlauf in der Pumpkammer 18 bestimmt wird, ist für die Strömung durch die Auslaßöffnung 14 sowohl der aktuelle Druck p in der Pumpkammer als auch die aktuelle Spalthöhe h an der Auslaßöffnung 14 von Bedeutung.

[0025] Der Betrag der Strömung durch die Einlaßöffnung oder Einlaßblende errechnet sich in erster Näherung zu:

$$\phi_{\text{Einlaß}} = A_{\text{Einlaß}} \mu \sqrt{2 \frac{|p_1 - p|}{\rho}} \quad (1)$$

[0026] Dabei ist A_{Blende} die Querschnittsfläche der Einlaßöffnung oder Blende 16, μ ist eine geometrieabhängige dimensionslose Ausflußzahl, ρ ist die Dichte des Fluids, p_1 ist der Druck im in die Einlaßöffnung mündenden Einlaß (siehe Fig. 1), und p ist der Pumpkammerdruck.

[0027] Die Strömung durch die Auslaßöffnung kann dagegen näherungsweise als laminare Spaltströmung betrachtet werden. Dieselbe berechnet sich zu:

$$\phi_{\text{Auslaß}} = \frac{1}{3} \frac{w h^3 (p - p_2)}{\eta b} \quad (2)$$

[0028] Dabei ist w die Weite der Auslaßöffnung, h ist die Auslenkung des Verdrängers, b ist die Länge des entsprechenden Spaltes (siehe Fig. 1), η ist die Viskosität der Fluids und p_2 ist der Druck in dem in die Auslaßöffnung mün-

denden Auslaß (siehe Fig. 1).

[0029] Der Fluß durch die Auslaßöffnung in Abhängigkeit von der Spalthöhe h ist für eine konstante Druckdifferenz in Fig. 3 dargestellt. Insbesondere für kleine Spalthöhen h ist der Durchfluß drastisch reduziert.

[0030] Entscheidend für den Pumpmechanismus ist bei der Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung die Tatsache, daß die Strömung durch die Auslaßöffnung von den beiden unabhängigen Variablen, nämlich dem Pumpkammerdruck p und der Spalthöhe h abhängt.

[0031] In den Fig. 4a bis 4d sind die transienten Vorgänge während der Saug- und während der Druckphase in der Pumpe gemäß Fig. 1 in Diagrammform dargestellt.

[0032] In Fig. 4a ist der Verlauf der Verdrängerbewegung, in Fig. 4b der Verlauf des Pumpkammerdrucks p , in Fig. 4c der Fluß durch die Einlaßöffnung und in Fig. 4d der Fluß durch die Auslaßöffnung dargestellt.

Saugphase

[0033] Beim Einschalten der Spannung an dem Piezo-Biegewandler liegt in der Pumpkammer schlagartig ein Unterdruck vor, ohne daß sich der Verdränger nennenswert nach oben bewegt. Dies ist zum Zeitpunkt 0.0 in den Fig. 4a und 4b dargestellt. Da die Auslaßöffnung zu diesem Zeitpunkt noch geschlossen ist, strömt kein Fluid durch dieselbe. Das Fluid strömt zunächst ausschließlich durch die Einlaßöffnung in die Pumpkammer (siehe Zeitpunkt 0.0 in den Fig. 4c und 4d). Erst mit zunehmender Bewegung des Verdrängers und einer damit verbundenen Zunahme der Spalthöhe h kommt eine Fluidströmung durch die entstehende Öffnung hinzu. Da sich jedoch mit der Bewegung des Verdrängers gleichzeitig der Unterdruck in der Pumpkammer wieder abbaut, ist das durch die Auslaßöffnung strömende Fluidvolumen relativ gering, da die Strömung proportional zu dem Produkt ph^3 ist.

Druckphase

[0034] Beim Ausschalten der an dem Piezo-Biegewandler anliegenden Spannung (Zeitpunkt 2.0 in den Fig. 4a bis 4d) liegt in der Pumpkammer schlagartig ein Überdruck vor, ohne daß sich der Verdränger nennenswert nach unten bewegt. In diesem Zustand ist die Auslaßöffnung offen, wobei gleichzeitig ein relativ großer Überdruck in der Pumpkammer vorliegt. Aus diesem Grund ist das Produkt ph^3 relativ groß. In der Druckphase fließt somit ein deutlich größerer Anteil des Fluids durch die Auslaßöffnung aus der Pumpkammer als in der Saugphase durch die Auslaßöffnung in die Pumpkammer geflossen ist, wie in Fig. 4d zu sehen ist. Aus dieser Figur wird die Unsymmetrie der Strömung durch die Auslaßöffnung in der Druck- und in der Saug-Phase und der damit verbundene Nettofluß durch die Auslaßöffnung deutlich.

[0035] Der Nettopumpeffekt der Fluidpumpe der vorliegenden Erfindung beruht darauf, daß der Spalt zwischen dem Verdränger und der Auslaßöffnung während dem Öffnungsvorgang der Auslaßöffnung, also der Saugphase, und dem Schließvorgang der Auslaßöffnung, also der Druckphase, unterschiedlich durchströmt wird. Der Grund dafür liegt darin, daß die Strömung durch die Auslaßöffnung sowohl vom Druck in der Pumpkammer als auch von der Spalthöhe h zwischen dem Verdränger und dem Pumpkörper abhängt.

[0036] Im folgenden werden alternative Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung beschrieben.

[0037] Der Pumpwirkungsgrad einer Pumpe gemäß der vorliegenden Erfindung, d.h. der Pumpertrag pro Pumpzyklus, und der maximal in der Pumpkammer erreichbare Gegendruck können durch eine Modifikation der beiden Öffnungsquerschnitte variiert werden. Insbesondere erbringt dabei eine Reduktion der Querschnittsfläche der Einlaßöffnung gegenüber der Querschnittsfläche, d.h. der Weite w der Auslaßöffnung, eine Steigerung des Maximaldrucks. Der Druckwirkungsgrad kann ferner durch einen optimierten Verlauf der Ansteuerspannung verbessert werden.

[0038] Dieser Überlegung liegt die Feststellung zugrunde, daß die Durchflußcharakteristik der Einlaßöffnung, die proportional zu $\sqrt{p}$ ist, ausgehend vom Ursprung eine nahezu senkrechte Steigung aufweist. Der Fluß durch die Auslaßöffnung nimmt dagegen bei einer konstanten Spalthöhe h nur linear mit dem Druck zu. Diese Effekte sind in Fig. 5 dargestellt. Folglich überwiegt bei kleinen Druckdifferenzen stets die Strömung durch die Einlaßöffnung. Wenn der Druck in der Pumpkammer während der Saugphase gezielt klein gehalten wird und in der Druckphase gezielt groß gehalten wird, kann somit der Pumpwirkungsgrad vergrößert werden.

[0039] Der Druck in der Pumpkammer stellt sich bei gegebener Ansteuerspannung U so ein, daß sich ein Kräftegleichgewicht zwischen dem Pumpantrieb, der intrinsischen Verspannung des Verdrängers und dem hydrostatischen Druck des Fluids in der Pumpkammer ergibt. In den Fig. 6a, 6b und 6c sind zwei Möglichkeiten dargestellt, wie der Druck in der Pumpkammer durch eine geeignete Ansteuerspannung vorteilhaft modifiziert werden kann.

[0040] Den Spannungsverläufen in den Fig. 6a bis 6c ist ein linearer Spannungsanstieg während der Saugphase und ein abruptes Ausschalten der Spannung während der Druckphase gemeinsam. Ferner wird bei dem Spannungsverlauf von Fig. 6c ferner zu Beginn der Druckphase die Spannung gezielt umgepolt, wodurch der Druck in der Pumpkammer über das normale Maß hinaus erhöht wird. Mit derartigen Ansteuerspannungen läßt sich der Pumpwirkungsgrad gezielt steigern. Es ist ferner offensichtlich, daß der Verdränger entweder allein durch seine mechanische Rück-

stellkraft infolge seiner Verformung (passiv) oder über den Antrieb (aktiv) geschlossen werden kann.

[0041] Der entscheidende Punkt bei dem Pumpmechanismus gemäß der vorliegenden Erfindung besteht also darin, daß sich mit der Bewegung des Verdrängers sowohl der Druck p in der Pumpkammer als auch die Höhe des Durchflußspaltes an der Auslaßöffnung ändern. Die Strömung durch die Auslaßöffnung setzt sich aus diesen beiden Faktoren zusammen. Bei einer vereinfachten Betrachtung ergibt sich ein Durchfluß ϕ proportional zu ph^3 , bei einer allgemeineren Betrachtung ist der Durchfluß proportional zu $p^x h^y$, wobei x und y beliebige Zahlen sind.

[0042] Es wird ausdrücklich darauf verwiesen, daß alle Zusammenhänge $p^x h^y$ zwischen Pumpkammerdruck p und Spalthöhe h zu einem Pumpeffekt führen, sofern sich bei der Integration während des Öffnungs- und Schließ-Vorgangs der Auslaßöffnung durch den Verdränger unterschiedliche Werte für die durch die Auslaßöffnung strömende Fluidmenge ergeben. Damit ist auch klar, daß eine laminare Spaltströmung durch das Ventil keine Voraussetzung für die Pumpfunktion ist. Eine Pumpwirkung ist auch bei einer turbulenten Strömung oder jeder beliebigen Mischform möglich.

[0043] Um einen guten Pumpwirkungsgrad zu erreichen, können spezielle Druckverläufe in der Pumpkammer vorteilhaft sein. Ein solcher Druckverlauf ist in Fig. 7 dargestellt. Ein solcher Druckverlauf kann beispielsweise mittels eines elektrostatischen Antriebs oder einer gezielten Modifikation der Ansteuerspannung (siehe Fig. 6) erreicht werden.

[0044] In Fig. 8 ist ein alternatives Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung dargestellt. Der Pumpkörper 100 besteht dabei aus einer Fluidik-Grundplatte mit integrierten Kanälen 105 und 107, die in einer Auslaßöffnung 140 bzw. einer Einlaßöffnung 160 enden. Als Verdränger 120 dient ein strukturierter Siliziumchip, der auf der Fluidik-Grundplatte befestigt ist und ausgestaltet ist, um in einer ersten Endstellung die Auslaßöffnung 140 zu verschließen und in einer zweiten Endstellung die Auslaßöffnung offen zu lassen. Durch eine Ausnehmung in dem Verdränger 120 ist ferner eine Pumpkammer 180 definiert. Als Antrieb ist bei dem in Fig. 8 dargestellten Ausführungsbeispiel eine auf dem Verdränger befestigte Piezo-Keramikplatte verwendet, die auf der Oberseite derselben mit einer Schicht für selektives Bonden versehen sein kann.

[0045] In Fig. 9 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung dargestellt, das mit Ausnahme des Antriebs des Verdrängers dem Ausführungsbeispiel von Fig. 8 gleicht. Bei dem in Fig. 9 gezeigten Ausführungsbeispiel ist ein elektrostatischer Antrieb des Verdrängers realisiert. Dazu ist über der dem Pumpkörper 100 gegenüberliegenden Seite des Verdrängers 120 beabstandet zu demselben eine Gegenelektrode angeordnet, um den Verdränger in die erste und die zweite Endposition zu bewegen. Ein elektrostatischer Antrieb weist den Vorteil auf, daß er allein aufgrund der nichtlinearen elektrostatischen Antriebskräfte während der Saug- und der Druck-Phase einen stark unsymmetrischen Pumpkammerdruckverlauf, wie er beispielsweise in Fig. 7 dargestellt ist, ermöglicht.

[0046] In den Fig. 10a bis 10d sind weitere Ausführungsbeispiele für den Ansteuerung des Verdrängers dargestellt. Dabei kann zwischen einer punktuellen oder flächigen Krafteinleitung unterschieden werden. Ferner unterscheiden sich die Ansteuerungsvorrichtungen dadurch, ob sie eine zwangsgeführte Ansteuerung oder eine Ansteuerung unter Zulassung einer Rückwirkung ermöglichen. Bei einem zwangsgesteuerten Verdränger besteht zwischen der Verdrängerstellung und dem Pumpkammerdruck keine Rückwirkung.

[0047] Fig. 10a zeigt einen Antrieb für eine punktuelle Krafteinleitung ohne Zwangssteuerung. In Fig. 10b ist ein Antrieb für eine flächige Krafteinleitung auf den Verdränger ohne Zwangssteuerung dargestellt. In den Fig. 10c bzw. 10d sind Antriebe für eine punktuelle bzw. flächige Krafteinleitung mit einer Zwangssteuerung dargestellt.

[0048] Um eine Steigerung des Pumpwirkungsgrades zu erreichen kann es ferner vorteilhaft sein, die Blende, d.h. die Einlaßöffnung, als eine Strömungsdüse auszubilden, wie dies bei sogenannten Diffusor-Nozzle-Pumpen üblich ist. Dadurch wird ferner die Pumprichtung nochmals zusätzlich begünstigt.

[0049] Werden innerhalb oder außerhalb der Pumpkammer elastische Komponenten angeordnet, so wird dadurch der Druckverlauf in der Pumpkammer, sowie die Flußraten durch die Einlaß- bzw. Auslaßöffnung beeinflusst. Die elastischen Komponenten können beispielsweise eine elastische Membran oder ein elastischer Medieneinschluß, beispielsweise Gas, sein. Die transienten Vorgänge in einer Pumpe für diesen Fall sind in Fig. 11 dargestellt.

[0050] Bei hohen Betriebsfrequenzen gelangt man in den Bereich der Eigenfrequenz dieser elastischen Komponenten in ihrer Fluidumgebung. Dadurch ergibt sich eine Phasenverschiebung zwischen dem Druckverlauf in der Pumpkammer und der Bewegung des Verdrängers. Die relativen Anteile der Vorwärts- und Rückwärts-Strömung durch die Auslaßöffnung verschieben sich und die Pumprichtung kehrt sich um.

[0051] Die Resonanzfrequenz wird von dem zu bewegenden Fluid in den Fluidleitungen mitbestimmt. Dadurch wird beispielsweise die Grenzfrequenz, ab der eine Umkehr der Förderrichtung auftritt, mit zunehmender Länge der Fluidleitungen wegen der größeren Fluidmasse geringer. Durch ein gezieltes Einbringen von elastischen Komponenten außerhalb der Pumpkammer läßt sich diese unerwünschte Kopplung zwischen der Resonanzfrequenz und den Fluidleitungen unterdrücken.

[0052] Wenn nur geringe elastische Puffervolumen in der Pumpkammer vorliegen, so wird der beschriebene Pumpmechanismus dadurch nur wenig gestört, wie in den Fig. 11a bis 11e gezeigt ist. Das Puffervolumen darf eine bestimmte Größe nicht überschreiten, da der erfindungsgemäße Pumpmechanismus sonst nicht mehr gewährleistet ist.

[0053] Liegt bei einer erfindungsgemäßen Fluidpumpe kein Pufferelement in oder an der Pumpkammer vor, so kann das dynamische Verhalten der bewegten Fluidsäule dazu benutzt werden, die Pumprichtung umzukehren. Wird die

Pumpe mit einer Frequenz betrieben, die der Resonanzfrequenz der bewegten Fluidsäule entspricht, ergibt sich eine Phasenverschiebung zwischen dem Druck und der Fluidbewegung, die eine Umkehr der Flußrichtung bewirkt.

[0054] Eine Umkehr der Pumprichtung kann ferner erreicht werden, indem das dynamische Verhalten des Verdrängers ausgenutzt wird. Wird die Pumpe mit einer Frequenz betrieben, die der Resonanzfrequenz des Verdrängers entspricht, führt eine Phasenverschiebung zwischen der den Verdränger antreibenden Kraft und der Bewegung des Verdrängers zu einer Umkehr der Pumprichtung.

[0055] In Fig. 12 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt. Bei der in Fig. 12 dargestellten Fluidpumpe ist eine Pumpkammer 380 zwischen einem Pumpenkörper 310 und einem Verdränger 320 als ein kapillarer Spalt ausgebildet. Mit einer derartigen Anordnung kann die Befüllung entscheidend vereinfacht sein, da ein Fluid aufgrund der Kapillarkräfte in die Pumpkammer gezogen wird. In Fig. 12 ist der Antriebsmechanismus für die Verdrängereinrichtung nicht dargestellt.

[0056] Eine Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung kann ferner mit einem Drucksensor versehen sein, über den die Fluidpumpe im idealen Betriebsbereich gehalten wird. Der Drucksensor kann in oder an der Pumpkammer angeordnet sein, um den in derselben herrschenden Druck aufzunehmen. Dazu kann der Drucksensor bei dem in Fig. 12 dargestellten Ausführungsbeispiel beispielsweise in den als eine Membran ausgestalteten Verdränger 320 integriert sein. Über einen Regelkreis ist es dann möglich, den Antrieb der Mikropumpe in den jeweils optimalen Arbeitsbereich zu bringen.

Patentansprüche

1. Fluidpumpe, mit

einem Pumpenkörper (10; 100; 310);

einem Verdränger (12; 120; 320), wobei der Verdränger (12; 120; 320) und der Pumpenkörper (10; 100; 310) derart ausgebildet sind, daß zwischen denselben eine Pumpkammer (18; 180; 380) gebildet ist, die eine Einlaßöffnung (16; 160; 360) und eine Auslaßöffnung (14; 140; 340) aufweist; wobei die Einlaßöffnung (16; 160; 360) und die Auslaßöffnung (14; 140; 340) nicht mit Rückschlagventilen versehen sind;

einer Antriebsvorrichtung (20; 200; 210), die den Verdränger (12; 120; 320) periodisch in eine erste und eine zweite Endstellung positioniert, dadurch gekennzeichnet, daß

der Verdränger (12; 120; 320) die Auslaßöffnung (14; 140; 340) verschließt, wenn er in der ersten Endstellung ist, die Auslaßöffnung (14; 140; 340) offen läßt, wenn er in der zweiten Endstellung ist, und die Einlaßöffnung (16; 160; 360) in beiden Endstellungen offen läßt,

der Verdränger (12; 120; 320) bei der Bewegung von der ersten in die zweite Endstellung im Bereich der Auslaßöffnung (14; 140; 340) einen sich in Abhängigkeit von der Bewegung öffnenden Durchströmungsspalt zwischen dem Verdränger und dem Pumpenkörper festlegt, derart, daß die Strömung durch die Auslaßöffnung (14; 140; 340) sowohl vom Druck in der Pumpkammer (18; 180; 380) als auch dem jeweiligen Öffnungsgrad des Durchströmungspalts abhängt.

2. Fluidpumpe gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

daß der Pumpenkörper (10; 100) in der Form einer Platte, die die Einlaß- und die Auslaß-Öffnung aufweist, ausgebildet ist, und daß der Verdränger (12; 120) eine Aussparung aufweist, die zusammen mit dem Pumpenkörper (10; 100) die Pumpkammer (18; 180) definiert.

3. Fluidpumpe gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

daß der Pumpenkörper (310) in der Form einer Platte, die die Einlaß- und Auslaß-Öffnung (360, 340) aufweist, ausgebildet ist, wobei der Pumpenkörper (310) ferner eine Aussparung aufweist, die zusammen mit dem Verdränger (320) die Pumpkammer definiert.

4. Fluidpumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet,

daß die Pumpkammer (380) als ein kapillarer Spalt ausgebildet ist.

5. Fluidpumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet,
daß die Querschnittsfläche der Einlaßöffnung (16; 160; 360) gegenüber der Querschnittsfläche der Auslaßöffnung (14; 140; 340) reduziert ist.
6. Fluidpumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet,
daß der Antrieb ein piezoelektrischer Biegewandler (20) ist.
7. Fluidpumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet,
daß der Antrieb aus einer auf die dem Pumpenkörper (100) gegenüberliegende Seite des Verdrängers (120) aufgebrachten Piezoplatte (200) besteht.
8. Fluidpumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet,
daß der Antrieb ein elektrostatischer Antrieb (210) ist.
9. Fluidpumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet,
daß der Verdränger (12; 120; 320) nach dem Abschalten der Pumpe die Auslaßöffnung (14; 140; 340) passiv verschließt.
10. Fluidpumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet,
daß der Verdränger (12; 120; 320) die Auslaßöffnung (14; 140; 340) durch das Anlegen einer Spannung mit umgekehrtem Vorzeichen an die Antriebsvorrichtung verschließt.
11. Fluidpumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet,
daß in oder an der Pumpkammer (18; 180; 380) ein Drucksensor angeordnet ist, mit dem ein Regelkreis aufgebaut ist.
12. Verfahren zum Treiben einer Fluidpumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet,
daß während einer Saugphase, in der der Verdränger (12; 120; 320) aus der ersten in die zweite Endstellung bewegt wird, eine im wesentlichen linear ansteigende Spannung an den Antrieb angelegt wird, und
daß zu Beginn einer Druckphase, in der der Verdränger (12; 120; 320) aus der zweiten in die erste Endstellung bewegt wird, die Spannung, die an dem Antrieb anliegt, abrupt ausgeschaltet wird.
13. Verfahren gemäß Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet,
daß zu Beginn der Druckphase nach dem abrupten Ausschalten der Spannung eine Spannung mit einem umgekehrten Vorzeichen an den Antrieb angelegt wird.
14. Verfahren zum Treiben einer Fluidpumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet,
daß der Verdränger (12; 120; 320) durch den Antrieb (20; 200; 210) mit einer Frequenz betrieben wird, die der Resonanzfrequenz der bewegten Fluidsäule oder der Resonanzfrequenz des Verdrängers (12; 120; 320) entspricht.

Claims

1. A fluid pump having:
a pump body (10; 100; 310);

a displacer (12; 120; 320), said displacer (12; 120; 320) and said pump body (10; 100; 310) being implemented such that a pump chamber (18; 180; 380) is defined therebetween, said pump chamber (18; 180; 380) having an inlet opening (16; 160; 360) and an outlet opening (14; 140; 340), neither said inlet opening (16; 160; 360) nor said outlet opening (14; 140; 340) being provided with a check valve;

a drive means (20; 200; 210) positioning the displacer (12; 120; 320) periodically at a first and at a second end position,

the displacer (12; 120; 320) closing said outlet opening (14; 140; 340) when it occupies its first end position and leaving said outlet opening (14; 140; 340) free when it occupies its second end position and leaving the inlet opening (16; 160; 360) free at both end positions thereof,

said displacer (12; 120; 320), when moving from the first to the second end position, defining a flow-through gap which opens between the displacer and the pump body in the area of the outlet opening (14; 140; 340) in dependence upon said movement, said flow-through gap being defined such that the flow through the outlet opening (14; 140; 340) depends on the pressure in the pump chamber (18; 180; 380) as well as on the respective opening degree of said flow-through gap.

2. A fluid pump according to claim 1, characterized in

that the pump body (10; 100) is implemented in the form of a plate including said inlet and outlet openings, and that the displacer (12; 120) is provided with a recess defining together with the pump body (10; 100) the pump chamber (18; 180).

3. A fluid pump according to claim 1, characterized in

that the pump body (310) is implemented in the form of a plate having inlet and outlet openings (360, 340), said pump body (310) being additionally provided with a recess defining together with the displacer (320) the pump chamber.

4. A fluid pump according to one of the claims 1 to 3, characterized in

that the pump chamber (380) is implemented as a capillary gap.

5. A fluid pump according to one of the claims 1 to 4, characterized in

that the cross-sectional area of the inlet opening (16; 160; 360) is reduced in comparison with the cross-sectional area of the outlet opening (14; 140; 340).

6. A fluid pump according to one of the claims 1 to 5, characterized in

that the drive means is a piezoelectric bending converter (20).

7. A fluid pump according to one of the claims 1 to 6, characterized in

that the drive means consists of a piezo plate (200) applied to the side of the displacer (120) located opposite the pump body (100).

8. A fluid pump according to one of the claims 1 to 7, characterized in

that the drive means is an electrostatic drive (210).

9. A fluid pump according to one of the claims 1 to 8, characterized in

that the displacer (12; 120; 320) closes the outlet opening (14; 140; 340) passively when the pump has been switched off.

10. A fluid pump according to one of the claims 1 to 8, characterized in

that the displacer (12; 120; 320) closes the outlet opening (14; 140; 340) by applying a voltage with opposite sign to the drive means.

11. A fluid pump according to one of the claims 1 to 10, characterized in

that a pressure sensor is arranged in or on the pump chamber (18; 180; 380), said pressure sensor being used for forming a control circuit.

12. A method of operating a fluid pump according to one of the claims 1 to 11, characterized in

that during a suction phase in the course of which the displacer (12; 120; 320) is moved from the first to the second end position an essentially linearly increasing voltage is applied to the drive means, and

that at the beginning of a pressure phase in the course of which the displacer (12; 120; 320) is moved from the second to the first end position the voltage applied to the drive means is abruptly switched off.

13. A method according to claim 12, characterized in

that at the beginning of the pressure phase, after the abrupt switching off of the voltage, a voltage with opposite sign is applied to the drive means.

14. A method of driving a fluid pump according to one of the claims 1 to 11, characterized in

that the displacer (12; 120; 320) is driven by the drive means (20; 200; 210) at a frequency corresponding to the resonant frequency of the moving fluid column or to the resonant frequency of the displacer (12; 120; 320).

Revendications

1. Pompe à fluide comportant

- ♦ un corps de pompe (10; 100; 310);
- ♦ un organe de refoulement (12; 120; 320), l'organe de refoulement (12; 120; 320) et le corps de pompe (10; 100; 310) étant conçus de façon qu'entre eux soit formée une chambre de pompe (18; 180; 380) qui présente une ouverture d'entrée (16; 160; 360) et une ouverture de sortie (14; 140; 340), l'ouverture d'entrée (16; 160; 360) et l'ouverture de sortie (14; 140; 340) n'étant pas munies de clapets de non-retour;
- ♦ un dispositif d'entraînement (20; 200; 210) qui positionne périodiquement l'organe de refoulement (12; 120; 320) dans une première et une seconde positions d'extrémité, caractérisée par le fait
- ♦ que l'organe de refoulement (12; 120; 320) obture l'ouverture de sortie (14; 140; 340) lorsqu'il est dans la première position d'extrémité, laisse ouverte l'ouverture de sortie (14; 140; 340) lorsqu'il est dans la seconde position d'extrémité, et laisse ouverte l'ouverture d'entrée (16; 160; 360) dans les deux positions d'extrémité,
- ♦ que, lors de son mouvement pour passer de la première à la seconde position d'extrémité, l'organe de refoulement (12; 120; 320) définit, dans la zone de l'ouverture de sortie (14; 140; 340), entre l'organe de refoulement et le corps de pompe, une fente d'écoulement, s'ouvrant en fonction dudit mouvement, de façon que l'écoulement à travers l'ouverture de sortie (14; 140; 340) dépende aussi bien de la pression régnant dans la chambre de pompe (18; 180; 380) que du taux d'ouverture respectif de la fente d'écoulement.

2. Pompe à fluide selon la revendication 1, caractérisée par le fait

que le corps de pompe (10; 100) a la forme d'une plaque qui comprend l'ouverture d'entrée et l'ouverture de sortie et que l'organe de refoulement (12; 120) présente un évidement qui, avec le corps de pompe (10; 100), définit la chambre de pompe (18; 180).

3. Pompe à fluide selon la revendication 1, caractérisée par le fait

que le corps de pompe (310) a la forme d'une plaque qui comprend l'ouverture d'entrée et l'ouverture de sortie (360, 340), le corps de pompe (310) présentant en outre un évidement qui, avec l'organe de refoulement (320) définit la chambre de pompe.

4. Pompe à fluide selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisée par le fait que la chambre de pompe (380) est conçue sous forme d'une fente capillaire.
- 5 5. Pompe à fluide selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée par le fait que l'aire de la section de l'ouverture d'entrée (16; 160; 360) est réduite par rapport à l'aire de la section d'ouverture de sortie (14; 140; 340).
6. Pompe à fluide selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisée par le fait que le mécanisme d'entraînement est un transducteur de cintrage piézo-électrique (20).
- 10 7. Pompe à fluide selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisée par le fait que le mécanisme d'entraînement est constitué d'une piézo-plaque (200) rapportée sur la face de l'organe de refoulement (120) située en face du corps de pompe (100).
- 15 8. Pompe à fluide selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisée par le fait que le mécanisme d'entraînement est un mécanisme d'entraînement électrostatique (210).
9. Pompe à fluide selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisée par le fait que l'organe de refoulement (12; 120; 320) obture passivement l'ouverture de sortie (14; 140; 340) après mise hors circuit de la pompe.
- 20 10. Pompe à fluide selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisée par le fait que l'organe de refoulement (12; 120; 320) obture l'ouverture de sortie (14; 140; 340) par application, sur le dispositif d'entraînement, d'une tension de signe opposé.
- 25 11. Pompe à fluide selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisée par le fait que dans ou sur la chambre de pompe (18; 180; 380) est disposé un détecteur de pression avec lequel est construit un circuit de régulation.
12. Procédé d'entraînement d'une pompe à fluide selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé
30 par le fait que pendant une phase d'aspiration, au cours de laquelle l'organe de refoulement (12; 120; 320) est déplacé de la première à la seconde position d'extrémité, une tension de croissance sensiblement linéaire est appliquée au mécanisme d'entraînement, et
qu'au début d'une phase de compression, au cours de laquelle l'organe de refoulement (12; 120; 320) est déplacé de la seconde à la première position d'extrémité, la tension qui s'applique au mécanisme d'entraînement est brusquement supprimée.
35
13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé
par le fait qu'au début de la phase de compression, après la brusque suppression de la tension, c'est une
40 tension de signe opposé qui est appliquée au mécanisme d'entraînement.
14. Procédé d'entraînement d'une pompe à fluide selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé
par le fait que l'organe de refoulement (12; 120; 320) est entraîné par le mécanisme d'entraînement (20; 200;
45 210) à une fréquence qui correspond à la fréquence de résonance de la colonne de fluide déplacée ou à la fréquence de résonance de l'organe de refoulement (12; 120; 320).

50

55

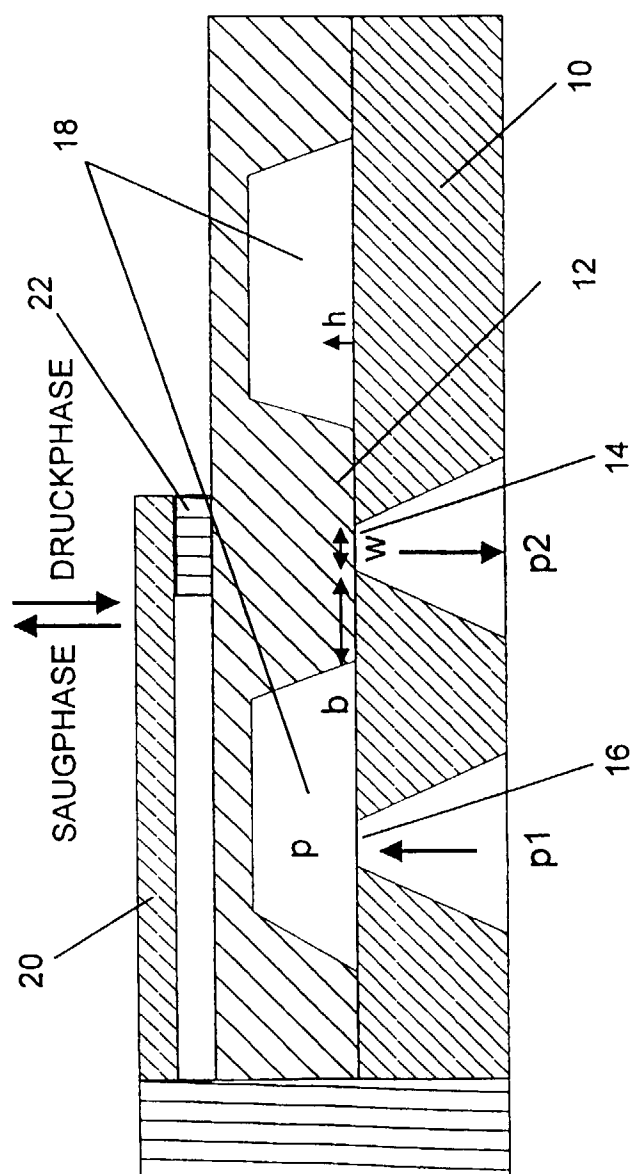


Fig. 1

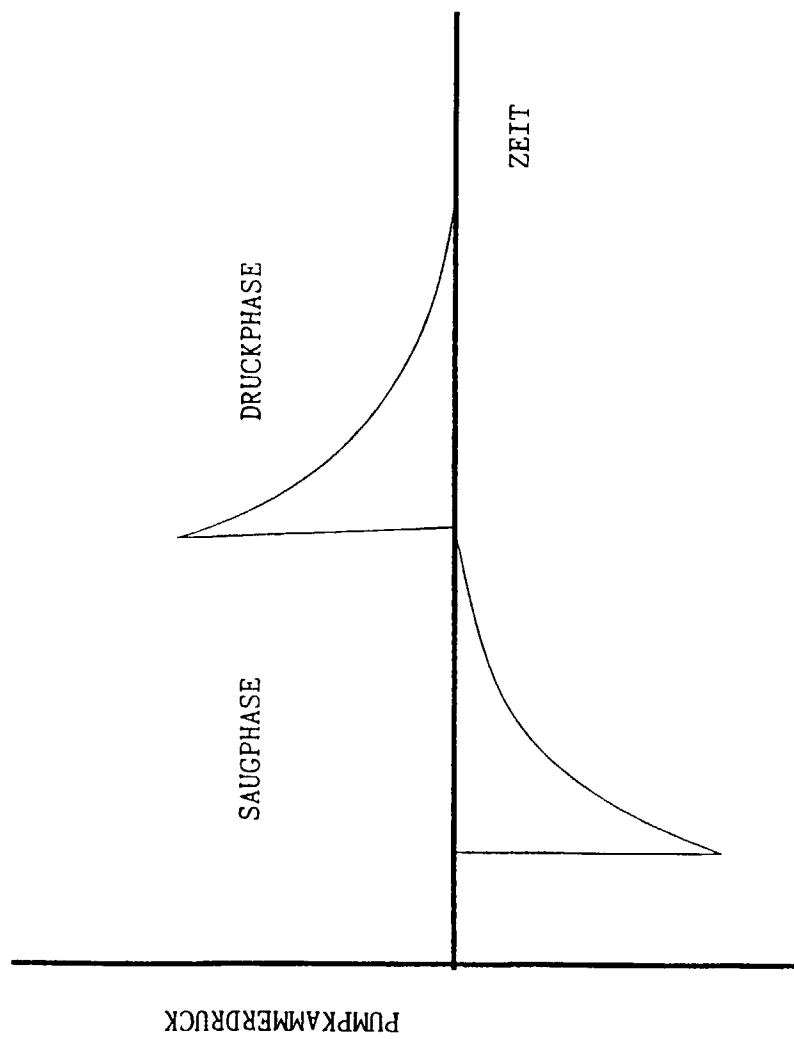


FIG. 2

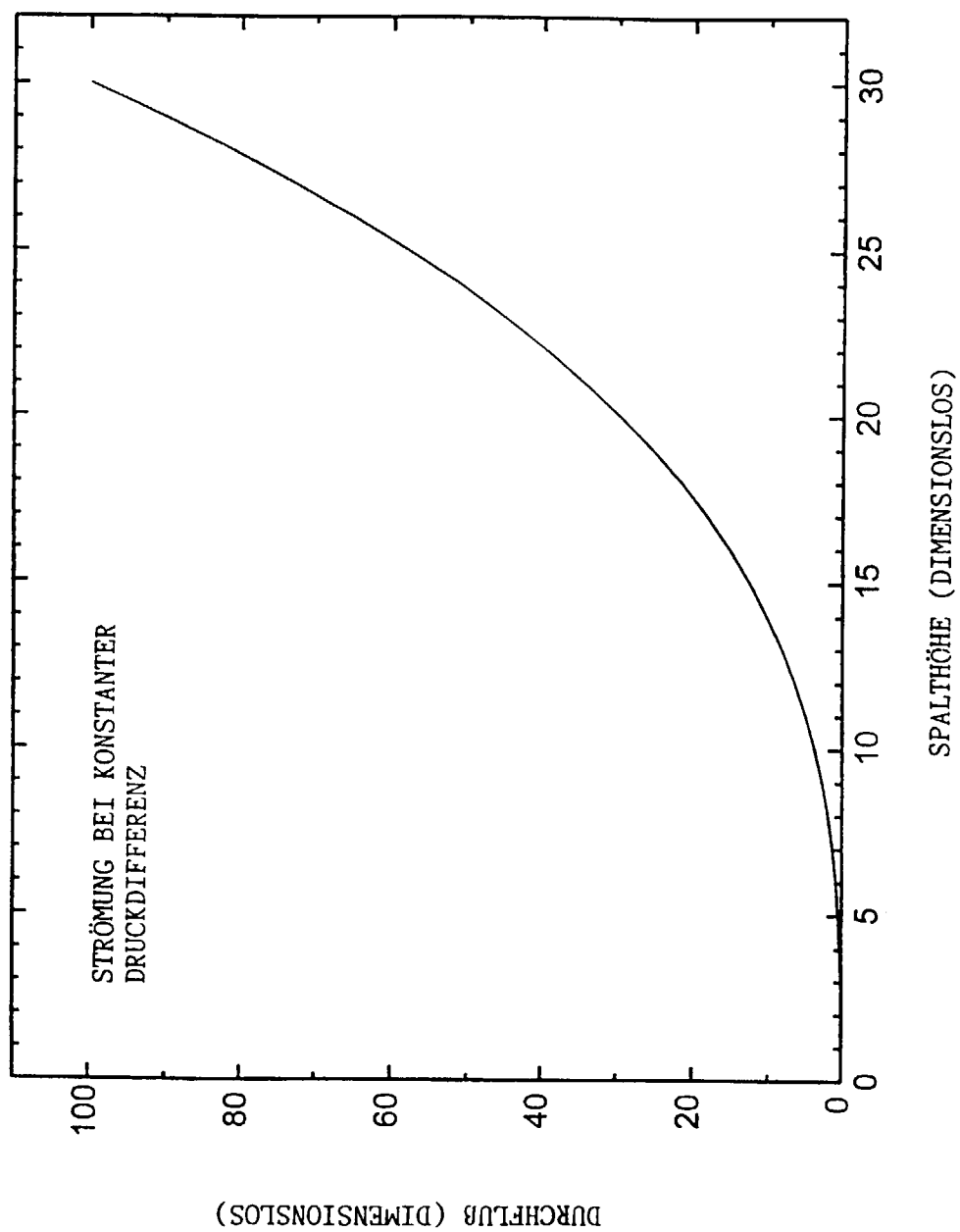


FIG. 3

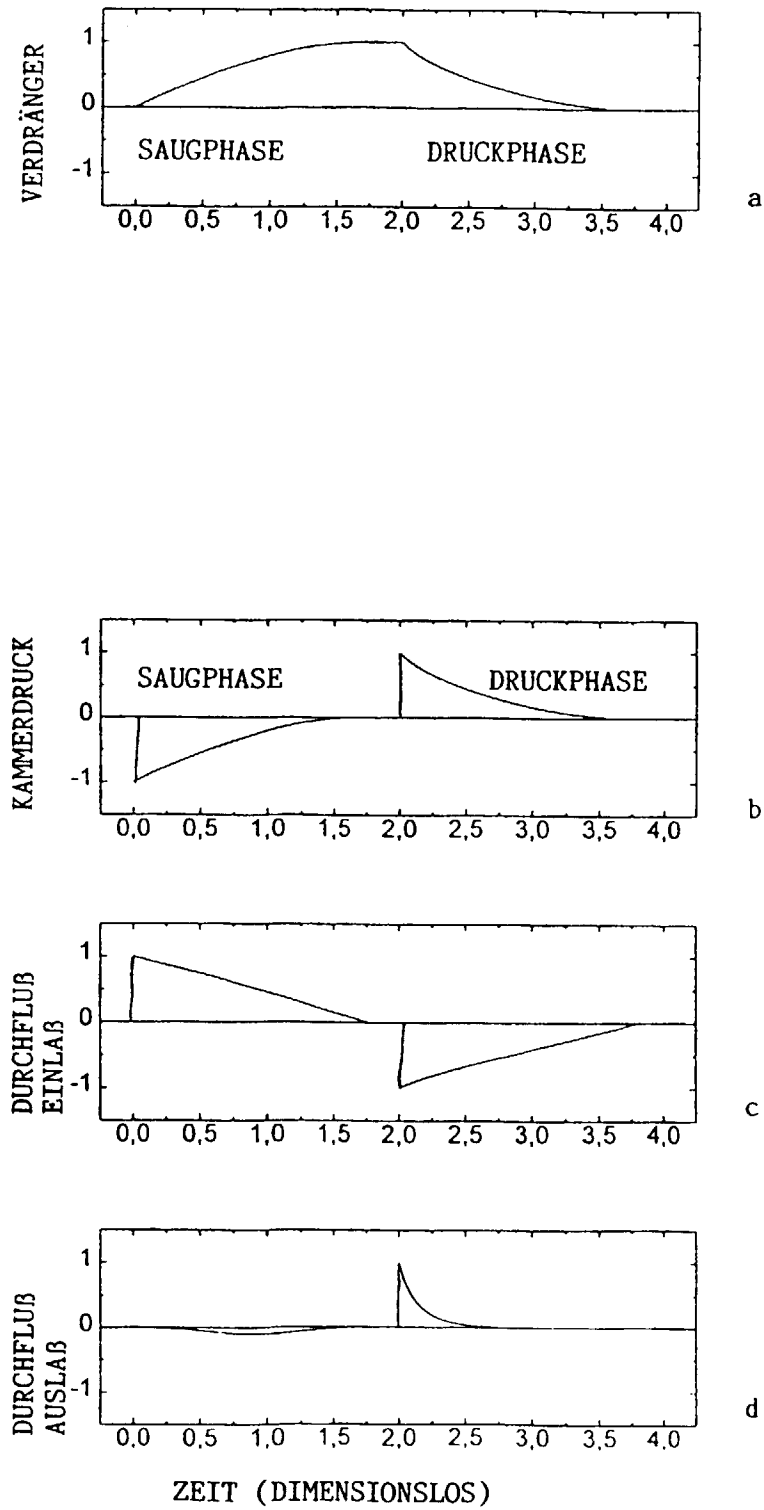


FIG. 4

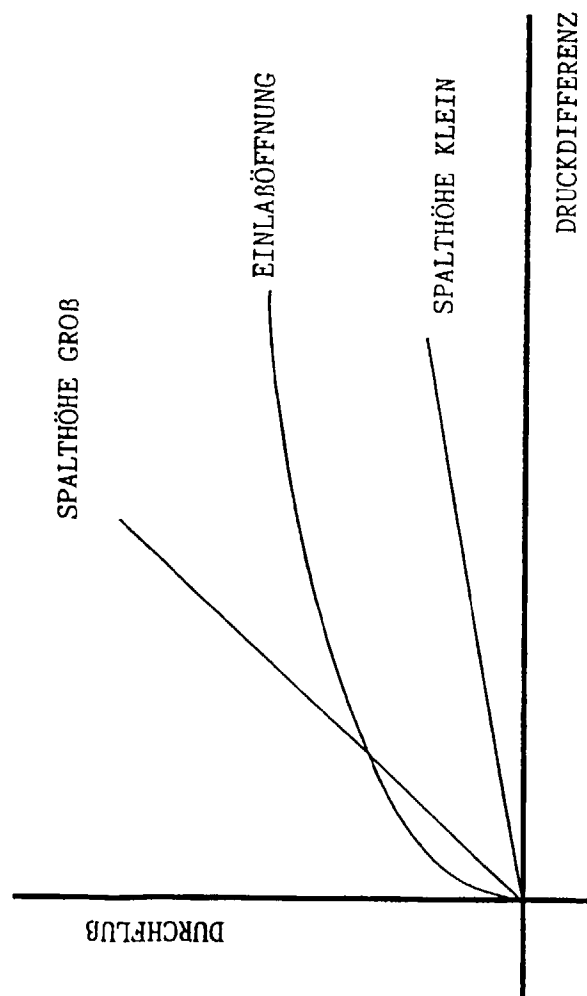


FIG. 5

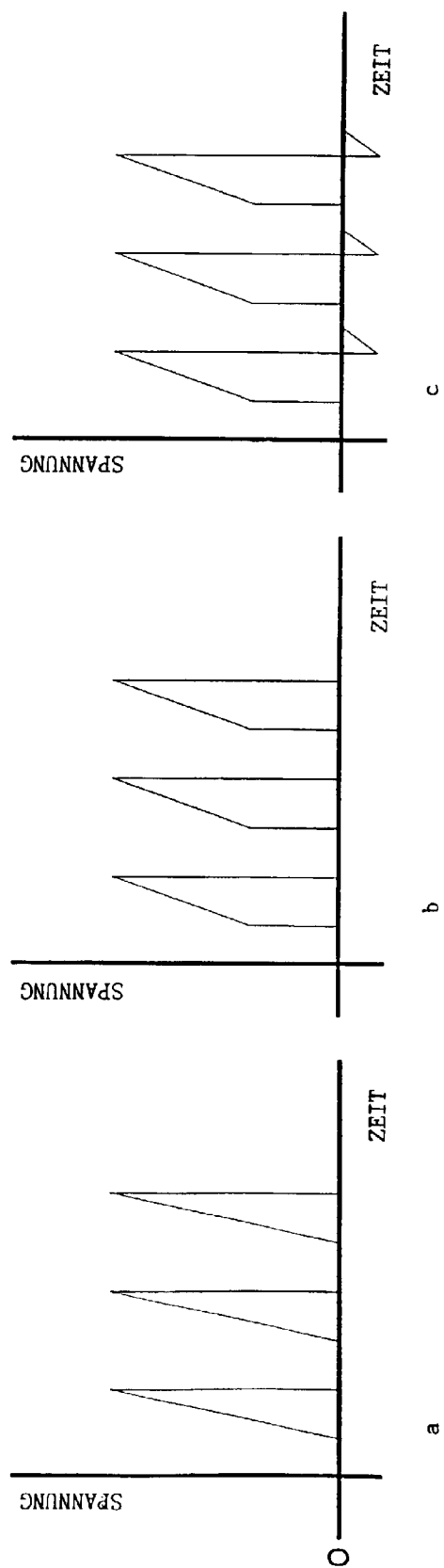


FIG. 6

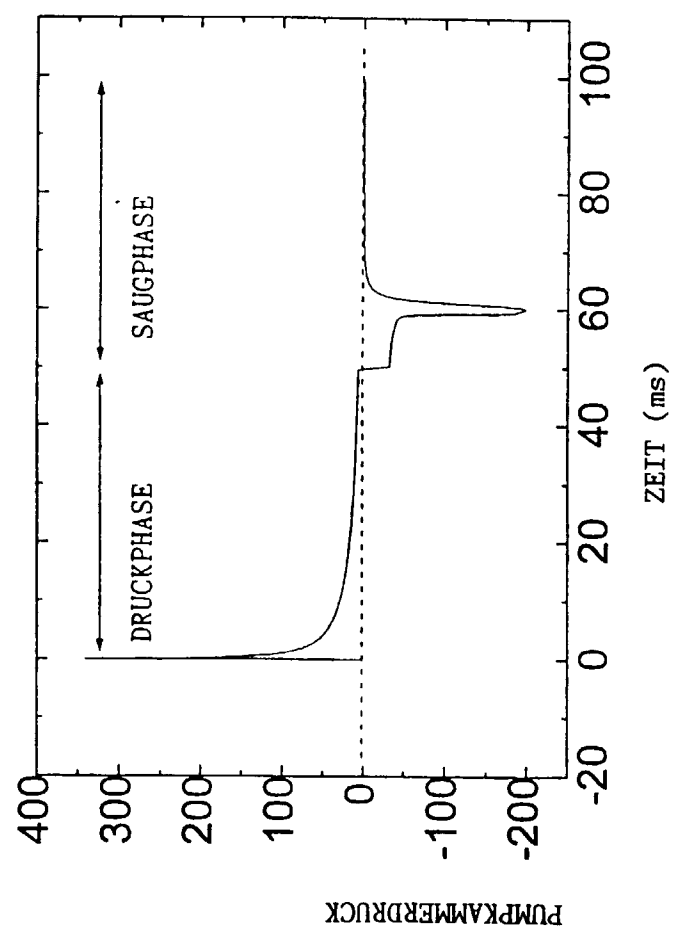


FIG. 7

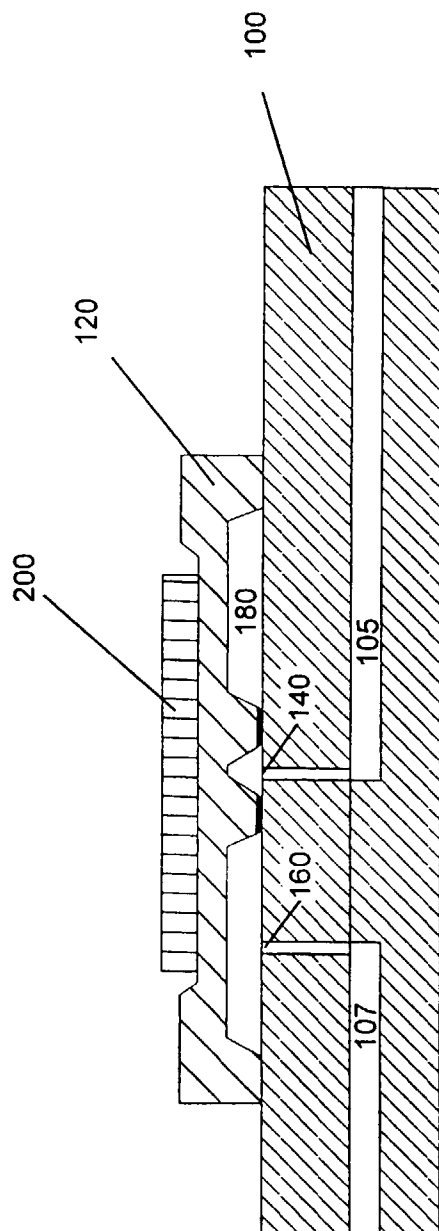


Fig. 8

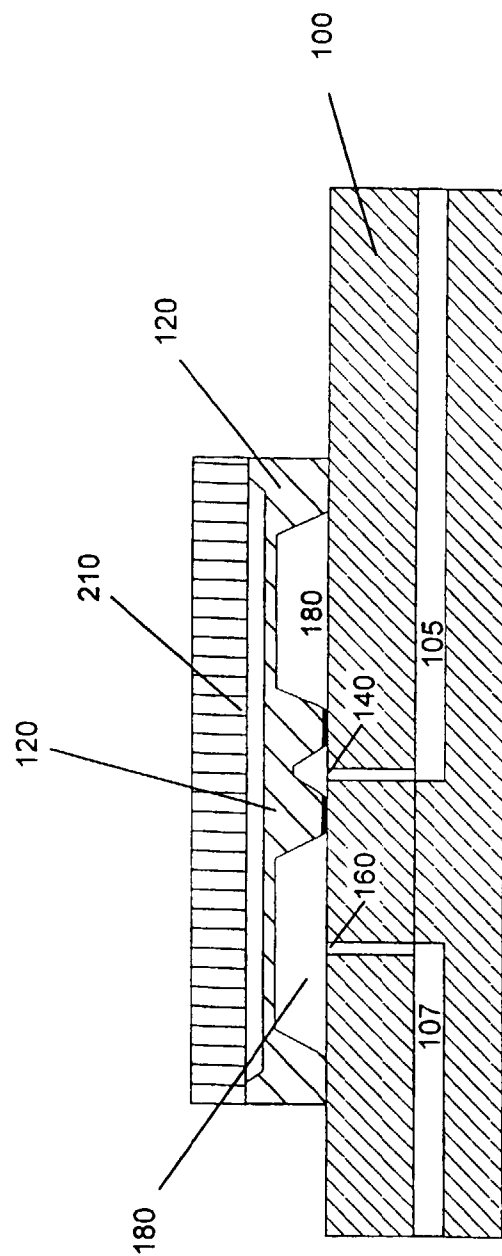
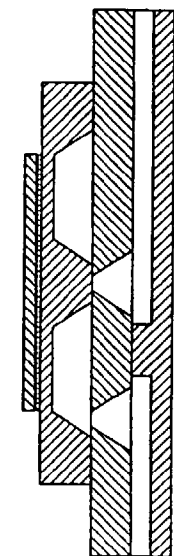
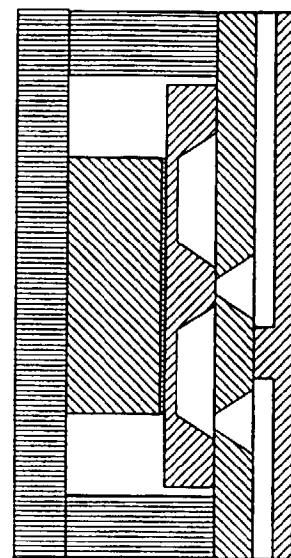


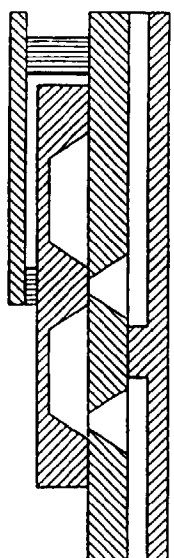
Fig. 9



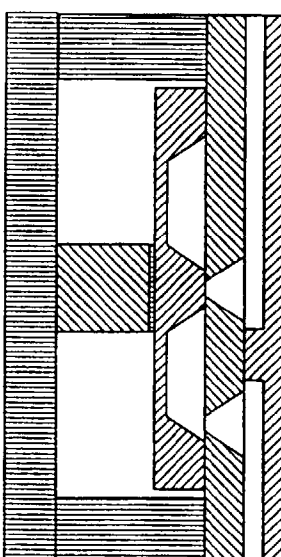
a:



b:



c:



d:

Fig. 10

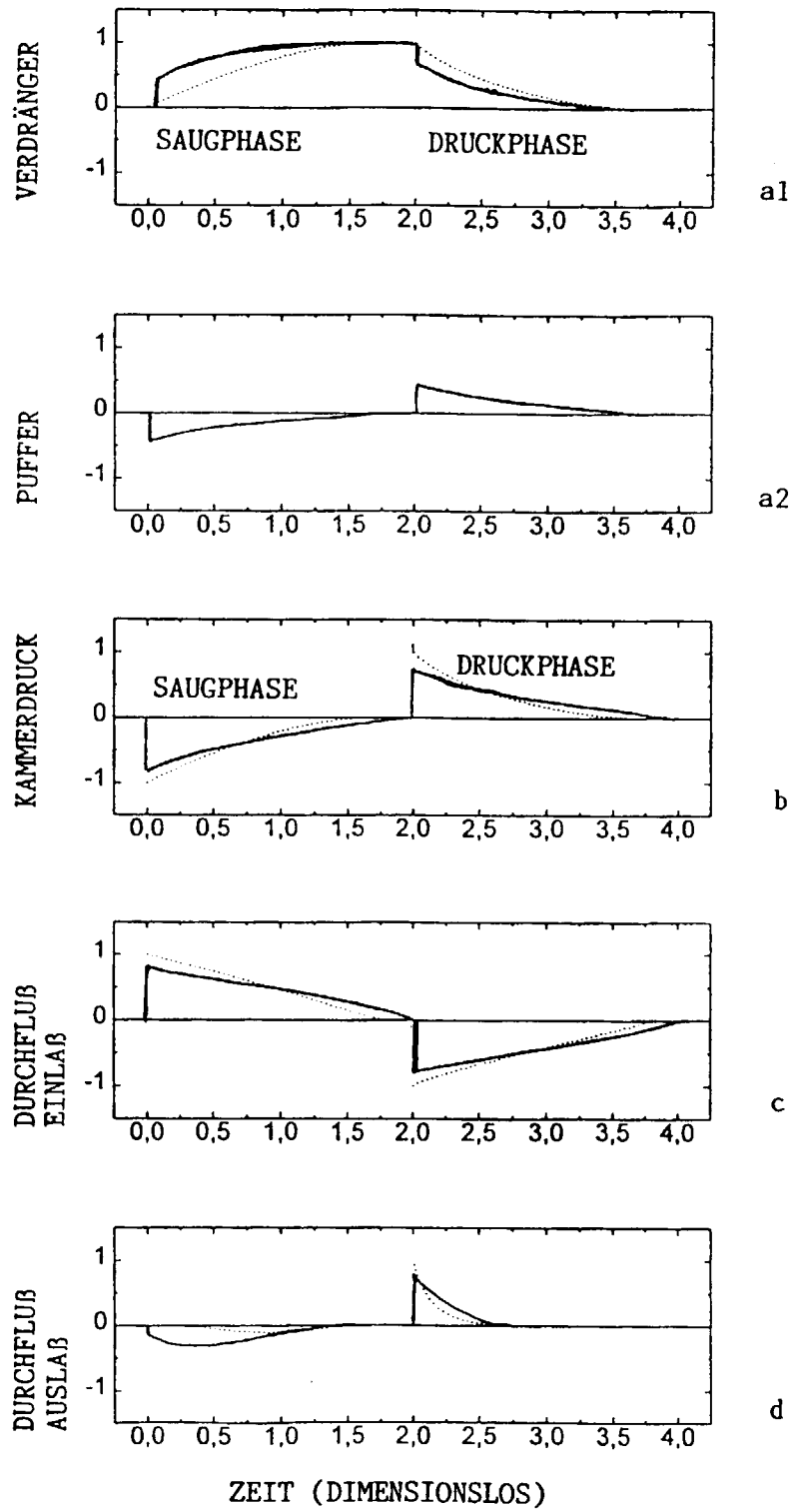


FIG. 11

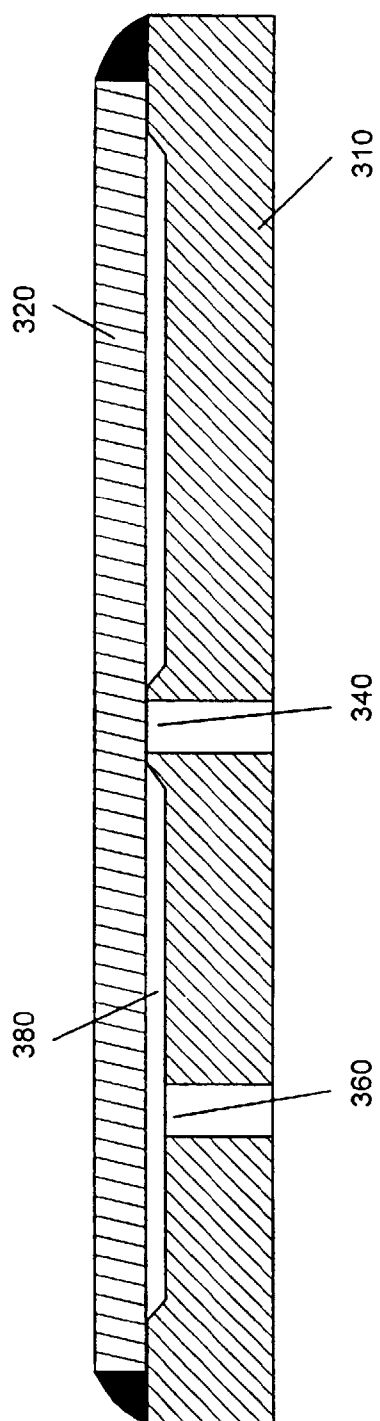


Fig. 12