



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 33 410 T2** 2007.10.31

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 212 532 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 33 410.4**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US00/25488**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 965 096.1**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2001/020166**

(86) PCT-Anmeldetag: **15.09.2000**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **22.03.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **12.06.2002**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **14.02.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **31.10.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F04B 43/02** (2006.01)  
**F04B 43/04** (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**408651 15.09.1999 US**

(73) Patentinhaber:  
**Honeywell Inc., Morristown, N.J., US**

(74) Vertreter:  
**derzeit kein Vertreter bestellt**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:  
**HERB, R., William, Minneapolis, MN 55408, US;  
CABUZ, Cleopatra, Edina, MN 55439, US; ZOOK,  
J., David, Golden Valley, MN 55343, US**

(54) Bezeichnung: **DOPPELMEMBRANPUMPE**

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).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung****GEBIET DER ERFINDUNG**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Mesopumpe. Genauer betrifft die Erfindung eine Mesopumpe, die aufgrund ihrer kompakten Gestaltung für eine gegebene Fluidpumprate ein verringertes Pumpenvolumen und Gewicht aufweist. Die Regierung kann gemäß Vertrag Nr. DABT63-97-C-0071, der durch die Abteilung für Landstreitkräfte zuerkannt wurde, Rechte an dieser Erfindung besitzen.

**ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK**

**[0002]** Moderne industrielle, wirtschaftliche, Raumfahrt- und Militärsysteme hängen kritisch von verlässlichen Pumpen für die Behandlung von Fluida ab. Die Entwicklungen bei Fluidbehandlungssystemen streben nach kleineren, verteilteren und tragbareren Systemen für zunehmende Verwendungen bei der Geräteausrüstung und der Steuerung.

**[0003]** Obwohl in den letzten Jahrzehnten wichtige Fortschritte in der Pumpentechnologie gemacht wurden, hat der Fortschritt hinsichtlich der Fähigkeit, die Pumpengröße, das Gewicht und den Leistungsbedarf zu verringern, seine Sättigung erreicht. Es besteht eine deutliche Lücke zwischen der Technologie für herkömmliche Pumpen einschließlich der sogenannten Mikropumpen und Pumpen, die auf der Mikroelektroniktechnologie beruhen.

**[0004]** Die Pumpfähigkeit dieser Mikropumpen liegt in einem Bereich von einem bis einigen zehn Mikrolitern pro Minute. Dies macht sie für Anwendungen wie implantierbare Systeme zur Verabreichung von Arzneimitteln oder die Mikrodosierung in chemischen Analysesystemen nützlich, doch sind diese Pumpgeschwindigkeiten um viele Größenordnungen kleiner als jene, die in Probenahmeanwendungen benötigt werden.

**[0005]** Eine Anzahl von Patenten der Vereinigten Staaten wurde für Vorrichtungen und Geräte erteilt, die im Allgemeinen den Mikroventilaufbau und die -steuerung betreffen. Zum Beispiel beschreibt die US-Patentschrift Nr. 5,082,242 an Bonne et al. ein Mikroventil, das ein einstückiger Aufbau ist, der so auf einem Stück Silizium hergestellt ist, dass die Vorrichtung ein Durchflussventil mit einem Einlass und einem Auslass an entgegengesetzten Seiten des Siliziumwafers ist. Die Ventile werden durch einen Kontakt mit einem Ventilsitz geschlossen, wobei die Flächen passend sein müssen, um eine Verschlechterung der Ventilleistung zu verhindern. Zwei Patente, die US-Patentschriften Nr. 5,180,623 und 5,244,527, sind Teilungspatente, die das ersterwähnte Patent betreffen.

**[0006]** Eine andere Familie von Patenten beschreibt die Fluidsteuerung, die Mikrominiaturventile, Sensoren und andere Komponenten einsetzt, welche einen Hauptdurchgang zwischen einer Einlass- und einer Ausgangsöffnung und zusätzlich einen Hilfsdurchgang zwischen der Einlass- und der Ausgangsöffnung verwenden. Der Hilfsdurchgang wird so durch ein Steuerströmungsrohr gesteuert, dass Klappen elektrostatisch bewegt werden. Die US-Patentschrift Nr. 5,176,358 an Bonne et al. lehrt eine derartige Fluidregulierungsvorrichtung, während die Teilungs-US-Patentschriften Nr. 5,323,999 und 5,441,597 alternative Ausführungsformen betreffen.

**[0007]** Ein zusätzliches Konzept ist durch Wagner et al. in der Ausgabe des IEEE-Journals vom Juni 1996 auf Seite 384–388 offenbart, wobei zwei gekrümmte Si/SiO<sub>2</sub>-Membranen, die mit Luft gefüllte Hohlräume überspannen, umschlossene Antriebselektroden aufweisen. Es wird ein gekoppeltes Membransystem offenbart, wobei eine erste Siliziummembran durch eine elektrostatische Kraft umgeschaltet wird, was wiederum Luft durch einen Kanal presst, um die zweite Siliziummembran nach oben zu schieben.

**[0008]** Sowohl in diesen patentierten Systemen als auch im Konzept, das durch Wagner et al. beschrieben wurde, werden Siliziumhalbleiterchips eingesetzt. Die Siliziumtechnologie ist tatsächlich ein Wirt für eine Anzahl von Mikrosensoren. Die Möglichkeit der Herstellung voll integrierter Systeme führte zur Entwicklung von einigen der oben beschriebenen Ventile und dergleichen. Doch die im Mikromaßstab erhältlichen Verschiebungen und die in der Siliziumtechnologie verfügbaren Materialien sind für diese Anwendung nicht die besten. Die erreichbaren Pumpraten sind bestenfalls sehr gering ( $\mu$ l bis ml/min). Zusätzlich neigen die Aufbauten dazu, kompliziert und teuer zu werden. Von größerer Bedeutung ist auch der Umstand, dass Silizium mit vielen biologischen Materialien nicht kompatibel ist, wodurch nahezu ein ganzer Bereich der Endverwendung beseitigt wird.

**[0009]** Gegenwärtige Probenahmepumpen für die Dampf- und Partikelfeststellung sind viel größer als die Instrumente, die sie unterstützen. Damit sie für viele Aufgaben wirksam sind, sollte die Abtastrate mit der menschlichen Atmung, d.h., 10 Liter pro Minute (lpm) oder mehr, vergleichbar sein. Die Pumpen müssen diesen Fluss gegen Druckabfälle von einem psi oder mehr liefern, was pneumatischen Ausgangslasten, die ein Watt überschreiten, und einem Eingangsleistungsbedarf, der zehn Watt überschreitet, entspricht. Gegenwärtige Systeme, die sich drehende Motoren verwenden, sind leistungshungrig, laut, und weisen eine begrenzte Lebensdauer auf. Mesoskopische Pumpen mit keinen sich drehenden oder gleitenden Teilen und hohen Leistungsfähigkeiten zur elektrisch-pneumatischen Umwandlung wären fähig,

die Fähigkeiten und die Leistungsfähigkeit von militärischen Systemen, die chemische, biologische, Explosiv- und andere Stoffe feststellen, dramatisch zu steigern.

**[0010]** Mehrere Abarten dieser Mesopumpen sind in der US-Patentschrift Nr. 5,836,750 von Cleopatra Cabuz mit dem Titel "Electrostatically Actuated Mesopump Having a Plurality of Elementary Cells" offenbart. Die darin beschriebenen Mesopumpen und andere primitivere Pumpen verwenden alle mehrere Kammern wie etwa, zum Beispiel, drei oder vier Kammern, die jeweils eine Membran aufweisen. Obwohl sie für ihre beabsichtigte Verwendung bewundernswert geeignet sind, können manche Anwendungen in der Zukunft möglicherweise durch die Größe und Kompaktheit dieser Mesopumpen des Stands der Technik beschränkt werden. Außerdem beschränkt das Vorhandensein von seitlichen Kanälen und der sich daraus ergebende tote Raum bei manchen Anwendungen für diese Mesopumpen erneut ihre Anwendbarkeit. Heutige Mesopumpen des Stands der Technik benötigen auch die Formung von Extraöffnungen, um eine Druckentlastung für unverwendete Membranflächen bereitzustellen.

**[0011]** US-A-2,195,792 offenbart eine Pumpe oder einen Kompressor, die bzw. der mehrere verhältnismäßig beabstandete scheibenartige Elemente in einem Körper aufweist, die Fluid im Körper von einem Einlass zu einem Auslass des Körpers hin betätigen.

**[0012]** Es wäre in der Technik von großem Vorteil, wenn eine kompaktere, leichtgewichtige Mesopumpe für jede beliebige gegebene Fluidpumprate bereitgestellt werden könnte.

**[0013]** Es wäre ein anderer großer Vorteil in der Technik, wenn Mesopumpen mit Einlass- und Auslassöffnungen in der Mitte der Kammer entwickelt werden könnten, um seitliche Kanäle zu beseitigen.

**[0014]** Noch ein anderer Fortschritt würde erzielt werden, wenn Mesopumpen entwickelt werden könnten, bei denen keine

**[0015]** Notwendigkeit besteht, Extraöffnungen zur Druckentlastung zu formen.

**[0016]** Andere Vorteile werden sich nachstehend zeigen.

**[0017]** Es wurde nun festgestellt, dass die obigen und andere Aufgaben der vorliegenden Erfindung auf die folgende Weise erfüllt werden können.

**[0018]** Nach der vorliegenden Erfindung wird eine Membranpumpe bereitgestellt, die einen Pumpenkörper mit einer darin gebildeten Pumpenkammer;

eine erste Membran, die in ihrer Membranfläche einen ersten Satz von Ventilöffnungen aufweist, und eine zweite Membran, die in ihrer Membranfläche einen zweiten Satz von Ventilöffnungen aufweist; mindestens eine Einlassöffnung und mindestens eine Auslassöffnung im Pumpenkörper zur Kommunikation mit der Pumpenkammer, wobei die mindestens eine Einlass- bzw. Auslassöffnung an einem Punkt, der nicht mit den Öffnungen in der Membran ausgerichtet ist, für einen dichtenden Kontakt mit einer aus der ersten und der zweiten Membran angeordnet ist; und

einen Treiber zur Betätigung der ersten und der zweiten Membran, um eine Membranbewegung in mehrere Membranstellungen zu verursachen, um einen Fluss eines Fluids durch die Pumpe zu steuern, umfasst; wobei

eine erste der Membranstellungen eine Stellung ist, in der die erste und die zweite Membran voneinander und von mindestens einer Einlass- bzw. Auslassöffnung beabstandet sind, um einen Fluss eines Fluids durch die Pumpenkammer zu gestatten;

eine zweite der Membranstellungen eine Stellung ist, in der die erste Membran und die zweite Membran in einem Membranflächenkontakt stehen, wobei der erste und der zweite Satz von Öffnungen nicht miteinander ausgerichtet sind, um zu gestatten, dass die Membranflächen eine Dichtung bilden, wenn sie im Membranflächenkontakt stehen; und

eine dritte der Membranstellungen eine Stellung ist, in der eine aus der ersten und der zweiten Membran in einem Membranflächenkontakt mit der mindestens einen Einlass- bzw. Auslassöffnung steht, um den dichtenden Kontakt zu bilden.

**[0019]** Die vorliegende Erfindung stellt auch ein Verfahren zum Pumpen von Fluida unter Verwendung einer Membranpumpe bereit, das die folgenden Schritte umfasst:

Einbringen eines Fluids in einen Pumpenkörper mit einer darin gebildeten Pumpenkammer durch mindestens eine Einlassöffnung in Kommunikation mit der Pumpenkammer, wobei das Fluid durch Betätigen einer ersten Membran, die in ihrer Membranfläche einen ersten Satz von Ventilöffnungen aufweist, wobei die Öffnungen nicht mit der mindestens einen Einlassöffnung ausgerichtet sind, in die Pumpenkammer gezogen wird;

Betätigen einer zweiten, Membran, die in ihrer Membranfläche einen zweiten Satz von Ventilöffnungen aufweist, wobei der zweite Satz von Ventilöffnungen nicht mit dem ersten Satz von Ventilöffnungen ausgerichtet ist, in eine Stellung, um dem Fluid zu gestatten, durch die zweite Membranfläche zu fließen, wenn die erste und die zweite Membran nicht in einem Membranflächenkontakt stehen; und

Abziehen von Fluid aus der Pumpenkammer durch mindestens eine Auslassöffnung im Pumpenkörper in Kommunikation mit der Pumpenkammer, wobei die Auslassöffnung nicht mit dem zweiten Satz von Ven-

tilöffnungen ausgerichtet ist, wobei das Fluid durch gesondertes Bewegen der ersten und der zweiten Membran in einen Membranflächenkontakt nahe an der Einlassöffnung, um dadurch einen dichtenden Kontakt herzustellen, um zu verhindern, dass Fluid durch die Membranöffnungen fließt, und danach gemeinsames Bewegen der ersten und der zweiten Membran, während der dichtende Kontakt aufrechterhalten wird, um das Fluid durch die Auslassöffnung auszustoßen, aus der Pumpenkammer abgezogen wird.

**[0020]** Insbesondere stellt die vorliegende Erfindung eine elektrostatisch betätigte Membranpumpe bereit. Die Pumpe besteht aus einer einzelnen geformten Kunststoffkammer mit zwei dünnen Membranen, die direkt übereinander gesetzt sind. Die Membranen können durch elektrostatische, elektromagnetische oder piezoelektrische Verfahren betätigt werden. Der Ansatz der elektrostatischen Betätigung kann in einer ähnlichen Weise wie bei früheren Gestaltungen wie etwa den in den oben erwähnten Patentanmeldungen und Patentschriften ausgeführt werden.

**[0021]** Das einzigartige Merkmal der vorliegenden Erfindung ist die Verwendung einer einzelnen Kammer zum Pumpen, was sich vom Stand der Technik unterscheidet, bei dem drei Kammern benötigt werden. Jede Membran weist ihren eigenen Satz von Ventilöffnungen auf, wobei die Öffnungen in der oberen und in der unteren Membran versetzt sind, so dass die Flächen eine abgedichtete Fläche bilden, wenn sie elektrostatisch zueinander gezogen sind, aber einen Fluss durch die Membran gestatten, wenn sie getrennt sind.

**[0022]** Im Pumpenkörper sind mindestens eine Einlassöffnung und mindestens eine Auslassöffnung zur Kommunikation mit der Pumpenkammer bereitgestellt. Die Öffnungen sind so angeordnet, dass sie durch die Membran abgedichtet werden, indem an einem Punkt, der nicht mit dem Satz von Öffnungen in der Membran ausgerichtet ist, ein Kontakt mit der Membran sichergestellt wird.

**[0023]** Die Einlassöffnung kann sich zum Eingriff mit der ersten Membran, um die Einlassöffnung zu öffnen und zu schließen, an der Oberseite der Pumpenkammer befinden. In der gleichen Weise kann sich die Auslassöffnung zum Eingriff mit der zweiten Membran, um die Auslassöffnung zu öffnen und zu schließen, an der Unterseite der Pumpenkammer befinden. Da die Pumpe dieser Erfindung umkehrbar ist, sind die Oberseite und die Unterseite natürliche bloße Bezeichnungen und könnte die umgekehrte Terminologie verwendet werden, um auf die Positionen des Einlasses/Auslasses zu verweisen.

**[0024]** Wenn die Membranen voneinander beab-

standet sind, findet ein Fluss des Fluids durch die Pumpenkammer statt. Wenn die Membranen untereinander in einem Membranflächenkontakt stehen, wird eine Dichtung gebildet, um das Fluid an jener Seite der Membranen zu halten, an der es sich zu dieser Zeit befindet. Wenn sich eine Membran in einem Membranflächenkontakt mit der Einlass- oder der Auslassöffnung befindet, dichtet sie die Öffnung ab, um einen Fluidfluss in die Pumpe oder daraus heraus zu verhindern.

**[0025]** Die Pumpen der vorliegenden Erfindung können zu einer Anordnung ausgeformt werden, die aus mehreren elektrostatisch betätigten Membranpumpen nach der vorliegenden Erfindung gebildet ist. Diese mehreren Pumpen können durch die Einlass- und die Auslassöffnungen parallel verbunden sein, um eine plattenartige Anordnung zu bilden, und sogar mehrere Schichten von Platten der Pumpen zu bilden. Alternativ können die mehreren Pumpen durch die Einlass- und Auslassöffnungen in Reihe verbunden sein. Beide Formen sind durch die vorliegende Erfindung ins Auge gefasst.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0026]** Für ein vollständigeres Verständnis der Erfindung wird hiermit auf die Zeichnungen Bezug genommen werden, wobei

**[0027]** [Fig. 1](#) eine vergrößerte Querschnittansicht einer Pumpe nach dieser Erfindung ist;

**[0028]** [Fig. 2](#) eine Draufsicht oder ein Grundriss der Vorrichtung von [Fig. 1](#) ist;

**[0029]** [Fig. 3a](#) bis [Fig. 3f](#) schematische Darstellungen des Betriebs der in [Fig. 1](#) gezeigten Pumpe sind;

**[0030]** [Fig. 4](#) ein schematisches Diagramm ist, das eine Abfolge von Steuerspannungen für den Betrieb der in [Fig. 1](#) gezeigten Pumpe veranschaulicht;

**[0031]** [Fig. 5](#) eine schematische Darstellung einer vierschichtigen parallelen Anordnung von Pumpenzellen der in [Fig. 1](#) gezeigten Art ist;

**[0032]** [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#) zwei alternative Formen für Pumpenkörper für Pumpen, die der in [Fig. 1](#) gezeigten Pumpe ähnlich sind, veranschaulichen;

**[0033]** [Fig. 7](#) eine schematische Querschnittsdarstellung einer vierschichtigen Pumpenanordnung ist;

**[0034]** [Fig. 8](#) eine schematische Querschnittsdarstellung von zwei vierschichtigen Pumpenanordnungen von [Fig. 7](#) ist, die in Reihe gestapelt sind; und

**[0035]** [Fig. 9](#) eine schematische Querschnittsdarstellung einer zweiten Gestaltung für massiv-paralle-

le Anordnungen der Pumpe von [Fig. 1](#) ist.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORM

**[0036]** wenn wir uns nun den Zeichnungen zuwenden, zeigt [Fig. 1](#) die vorliegende Erfindung, **10**, allgemein im Querschnitt, wobei ein Körper **11** eine Kammer definiert, die einen oberen Bereich **13**, einen mittleren Bereich **14** und einen unteren Bereich **15** aufweist. Die Kammer ist durch die obere und die untere Membran **17** bzw. **19** in drei Bereiche geteilt, und der Rauminhalt jedes Bereichs wird durch die Stellungen der Membranen bestimmt. Eine Steuerelektronik **21** stellt Spannungspotentiale V1, V2 und V3 bereit.

**[0037]** In einer Ausführungsform weist die obere und die untere Fläche jeder Membran eine gesonderte Elektrode auf, wie dies auch bei der oberen und der unteren Fläche der Kammer der Fall ist. In einer anderen Ausführungsform können die obere und die untere Fläche jeder Membran und die obere und die untere Fläche der Pumpenkammer auf das gleiche Potential kurzgeschlossen werden, so dass nur drei Steuerspannungen benötigt werden. Das elektrostatische Bewegen von Membranen in Kammern durch das Anlegen einer Spannung an eine oder mehrere Elektroden ist bekannt, und es ist ins Auge gefasst, dass die vorliegende Erfindung diese Techniken einsetzen wird, um die Bewegungen der Membranen in einen Kontakt miteinander und mit der Kammer selbst und aus diesem Kontakt heraus zu erreichen. Wie in der Technik bekannt besteht jede Elektrode aus einer leitfähigen Metallschicht, die mit einem Nichtleiter überzogen ist, um einen Kurzschluss zwischen Elektroden zu verhindern.

**[0038]** Die Membranen **17** und **19** weisen mehrere Öffnungen **27** bzw. **29** auf, die einen Durchgang des Fluids durch die Membran gestatten. Die Öffnungen **27** und **29** sind nichtausgerichtet oder so positioniert, dass keine Öffnung in der Membran **17** über irgendeiner Öffnung in der Membran **19** liegt. [Fig. 2](#) veranschaulicht diese Anordnung, wobei die oberen Öffnungen **27** mit durchgehenden Linien auf der Membran **17** und die unteren Öffnungen **29** gestrichelt dargestellt sind, um zu veranschaulichen, dass sie sich auf der unteren Membran **19** befinden. Wenn die beiden Membranen **17** und **19** elektrostatisch zueinander gezogen sind, bilden sie eine abgedichtete Fläche, gestatten aber einen Fluss durch die Membran, wenn sie einzeln betätigt werden. Um die Beschreibung der in [Fig. 1](#) gezeigten Pumpe abzuschließen, kommuniziert die obere Öffnung **33** mit der oberen Kammer **13** und kommuniziert die untere Öffnung **35** mit der unteren Kammer **15**. Der obere Kammerbereich **13** kommuniziert über die oberen Öffnungen **27** mit dem mittleren Bereich **14**, und der untere Kammerbereich **15** kommuniziert über die unteren Öff-

nungen **29** mit dem mittleren Bereich **14**. Da der Fluidfluss entweder in die Öffnung **33** und **35** oder daraus heraus erfolgen kann, werden beide Öffnungen **33** und **35** abhängig von der Gestaltung der Pumpe und der begleitenden Ausrüstung während der Verwendung der Pumpe als ein Einlass oder ein Auslass dienen.

**[0039]** [Fig. 3a](#) bis [Fig. 3f](#) veranschaulichen eine Pumpabfolge, wobei sich der Einlass an der Unterseite befindet. Eine entgegengesetzte Gestaltung ist ebenfalls passend, da die Pumpe völlig umkehrbar ist. [Fig. 3a](#) veranschaulicht die Ausrichtung, bei der beide Membranen **17** und **19** abwärts gezogen wurden, wodurch die untere Öffnung **35** abgedichtet wird. Es wird angenommen, dass in der oberen Kammer **13** Fluid enthalten ist, während die mittlere Kammer **14** und die untere Kammer **15** durch die Stellung der beiden Membranen **17** und **19** im Wesentlichen beseitigt sind. Wie oben bemerkt sind die Öffnungen **27** und **29** in den Membranen **17** und **19** nicht miteinander oder mit den beiden Öffnungen **33** und **35** ausgerichtet, um die gewünschte Abdichtung zu bewirken. [Fig. 3b](#) veranschaulicht den Beginn des Pumptakts durch gleichzeitiges gemeinsames Aufwärtsbewegen der Membranen **17** und **19** zur Oberseite. [Fig. 3c](#) zeigt den Abschluss des Pumptakts, wobei beide Membranen **17** und **19** nach oben geschoben sind, wodurch die obere Öffnung **33** abgedichtet wird. Das gesamte Fluid in der Kammer **13** von [Fig. 3a](#) wurde in [Fig. 3c](#) durch die obere Öffnung **33** ausgestoßen, und die untere Öffnung **35** ist offen, so dass das Fluid durch die untere Öffnung **35** in die untere Kammer **15** gezogen wird. In [Fig. 3d](#) bleibt die obere Membran **17** in einer dichtenden Beziehung mit der oberen Öffnung **33**, während die untere Membran **19** nach unten gezogen wird, wodurch verursacht wird, dass das Fluid in der unteren Kammer **15** durch die Öffnungen **29** in die mittlere Kammer **14** übergeht. [Fig. 3e](#) veranschaulicht die Ausrichtung der unteren Membran **19**, die vollständig nach unten gezogen wurde, um die untere Öffnung **35** abzudichten, während die obere Membran **17** bei der Abdichtung der oberen Öffnung **33** bleibt.

**[0040]** Schließlich veranschaulicht [Fig. 3f](#) den Mittelpunkt der Abwärtsbewegung der oberen Membran **17** zur unteren Membran **19** hin, wobei Fluid von der mittleren Kammer **14** in die obere Kammer **13** gezogen werden kann, was zur anfänglich in [Fig. 3a](#) gezeigten Ausrichtung führt.

**[0041]** [Fig. 4](#) veranschaulicht schematisch eine mögliche Abfolge von Steuerspannungen für den oben beschriebenen Pumpenbetrieb, wobei V1 bei einem +V-Wert bleibt, V2 bei einem -V-Wert bleibt, und V3 wie veranschaulicht zwischen +V und -V wechselt, wodurch die wie unter Bezugnahme auf [Fig. 3a](#) bis [Fig. 3f](#) beschriebene elektrostatische Aktivierung der Membranen **17** und **19** verursacht wird.

**[0042]** Wie oben bemerkt unterscheidet sich die Doppelmembranpumpengestaltung der vorliegenden Erfindung insofern von Gestaltungen des Stands der Technik, als jeder Pumpenkanal nur eine Kammer aufweist, die abhängig vom Standort der Membranen **17** und **19** nominell in einen oberen Bereich **13**, einen mittleren Bereich **14** und einen unteren Bereich **15** geteilt ist. Die drei Stufen der Pumpfähigkeit des Stands der Technik sind tatsächlich in der einzelnen Kammer von Block **11** enthalten.

**[0043]** Die Gestaltung der vorliegenden Erfindung ist mit nur einer geformten Kammer für jeden Pumpkanal viel kompakter. Daher ist das gesamte Pumpenvolumen und das Gewicht, die für eine gegebene Fluidpumprate benötigt werden, kleiner als bei Gestaltungen des Stands der Technik. Die Einlass- und die Auslassöffnung befinden sich beide in der Mitte der Kammer, wodurch die Verwendung von seitlichen Kanälen beseitigt wird. Dies wird aufgrund der Beseitigung der seitlichen Kanäle eine Erhöhung der Pumprate gestatten. [Fig. 1](#) und andere zeigen deutlich, wie toter Raum beseitigt wurde, besonders, da seitliche Kanäle fehlen. Da beim Pumpvorgang beide Seiten der Membranen verwendet werden, besteht zusätzlich keine Notwendigkeit, Extraöffnungen zu formen, um eine Druckentlastung für unbenutzte Membranflächen bereitzustellen. Und schließlich ist die Pumpe umkehrbar.

**[0044]** Obwohl das Stapeln paralleler Anordnungsplatten der Doppelmembranpumpen dieser Erfindung die Pumpen normalerweise in Reihe bringen würde, veranschaulichen [Fig. 5](#), [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) eine Pumpenstapelanordnung, bei der bis zu vier Schichten von Pumpen parallel tätig sind. Wie in [Fig. 6a](#) gezeigt kann der Fluss durch Kanäle **61** in einzelnen Körpern **63** gestellt werden, wobei sich der Einlass/Auslass **65** in der Mitte des Körpers **63** befindet, oder kann der Pumpenkörper **67** zum Beispiel eine sechseckige Form mit einem zentralen Einlass/Auslass **65** und einem Fluss durch Kanäle **69** an jeder Ecke des Sechseckkörpers **67** aufweisen. In [Fig. 7](#) ist jede Schicht passend versetzt. Dies verdoppelt die lineare Dichte der Einlass/Auslassöffnungen über eine einzelne Schicht von Pumpen. [Fig. 7](#) zeigt vier Schichten **71**, **73**, **75**, und **77**. [Fig. 8](#) veranschaulicht ein Paar von vierschichtigen Pumpenanordnungen, die in Reihe gestapelt sind.

**[0045]** [Fig. 9](#) veranschaulicht eine zweite Gestaltung für massiv-parallele Anordnungen der in [Fig. 1](#) gezeigten Art. Die Verwendung von seitlichen Kanälen **93** zum Anschließen der Einlässe und von seitlichen Kanälen **95** zum Anschließen der Auslässe gestattet, dass die Anzahl der übereinander gestapelten Pumpenschichten viel größer ist, so dass eine würfelförmige Anordnung gebildet werden könnte.

**[0046]** Obwohl bestimmte Ausführungsformen der

vorliegenden Erfindung veranschaulicht und beschrieben wurden, ist nicht beabsichtigt, die Erfindung, außer wie durch die folgenden Ansprüche definiert, zu beschränken.

### Patentansprüche

1. Membranpumpe (**10**), umfassend, einen Pumpenkörper (**11**) mit einer darin gebildeten Pumpenkammer (**13**, **14**, **15**); eine erste Membran (**17**), die in ihrer Membranfläche einen ersten Satz von Ventilöffnungen (**27**) aufweist, und eine zweite Membran (**19**), die in ihrer Membranfläche einen zweiten Satz von Ventilöffnungen (**29**) aufweist; mindestens eine Einlassöffnung (**33**) und mindestens eine Auslassöffnung (**35**) im Pumpenkörper zur Kommunikation mit der Pumpenkammer, wobei die mindestens eine Einlass- bzw. Auslassöffnung an einem Punkt, der nicht mit den Öffnungen in der Membran ausgerichtet ist, für einen dichtenden Kontakt mit einer aus der ersten und der zweiten Membran angeordnet ist; und einen Treiber (**21**) zur Betätigung der ersten und der zweiten Membran, um eine Membranbewegung in mehrere Membranstellungen zu verursachen, um einen Fluss eines Fluids durch die Pumpe zu steuern; wobei eine erste der Membranstellungen eine Stellung ist, in der die erste und die zweite Membran voneinander und von mindestens einer Einlass- bzw. Auslassöffnung beabstandet sind, um einen Fluss eines Fluids durch die Pumpenkammer zu gestatten; eine zweite der Membranstellungen eine Stellung ist, in der die erste Membran und die zweite Membran in einem Membranflächenkontakt stehen, wobei der erste und der zweite Satz von Öffnungen nicht miteinander ausgerichtet sind, um zu gestatten, dass die Membranflächen eine Dichtung bilden, wenn sie im Membranflächenkontakt stehen; und eine dritte der Membranstellungen eine Stellung ist, in der eine aus der ersten und der zweiten Membran in einem Membranflächenkontakt mit der mindestens einen Einlass- bzw. Auslassöffnung steht, um den dichtenden Kontakt zu bilden.

2. Pumpe (**10**) nach Anspruch 1, beinhaltend eine Einlassöffnung (**33**) an der Pumpenkammer (**13**, **14**, **15**) zum Eingriff mit der ersten Membran (**17**), um die Einlassöffnung zu öffnen und zu schließen.

3. Pumpe (**10**) nach Anspruch 1, beinhaltend eine Auslassöffnung (**35**) an der Pumpenkammer (**13**, **14**, **15**) zum Eingriff mit der zweiten Membran (**19**), um die Auslassöffnung zu öffnen und zu schließen.

4. Pumpe (**10**) nach Anspruch 1, beinhaltend eine Einlassöffnung (**33**) an der Pumpenkammer (**13**, **14**, **15**) zum Eingriff mit der ersten Membran (**17**), um

die Einlassöffnung zu öffnen und zu schließen, und eine Auslassöffnung (35) an der Pumpenkammer zum Eingriff mit der zweiten Membran, um die Auslassöffnung zu öffnen und zu schließen.

5. Anordnung, die aus mehreren Membranpumpen (10, 63, 67) nach Anspruch 1 gebildet ist.

6. Anordnung nach Anspruch 5, wobei die mehreren Membranpumpen (10, 63, 67) durch die Einlass- und Auslassöffnungen (33, 35, 65) parallel verbunden sind, um eine plattenartige Anordnung zu bilden.

7. Anordnung nach Anspruch 6, wobei die mehreren Membranpumpen (10, 63, 67) elektrostatisch betätigt werden.

8. Verfahren zum Pumpen von Fluida unter Verwendung einer Membranpumpe (10), umfassend die folgenden Schritte:

Einbringen eines Fluids in einen Pumpenkörper (11) mit einer darin gebildeten Pumpenkammer (13, 14, 15) durch mindestens eine Einlassöffnung (33) in Kommunikation mit der Pumpenkammer, wobei das Fluid durch Betätigen einer ersten Membran (17), die in ihrer Membranfläche einen ersten Satz von Ventilöffnungen (27) aufweist, wobei die Öffnungen nicht mit der mindestens einen Einlassöffnung ausgerichtet sind, in die Pumpenkammer gezogen wird; Betätigen einer zweiten Membran (19), die in ihrer Membranfläche einen zweiten Satz von Ventilöffnungen (29) aufweist, wobei der zweite Satz von Ventilöffnungen nicht mit dem ersten Satz von Ventilöffnungen ausgerichtet ist, in eine Stellung, um dem Fluid zu gestatten, durch die zweite Membranfläche zu fließen, wenn die erste und die zweite Membran nicht in einem Membranflächenkontakt stehen; und Abziehen von Fluid aus der Pumpenkammer durch mindestens eine Auslassöffnung (35) im Pumpenkörper in Kommunikation mit der Pumpenkammer, wobei die Auslassöffnung nicht mit dem zweiten Satz von Ventilöffnungen ausgerichtet ist, wobei das Fluid durch gesondertes Bewegen der ersten und der zweiten Membran in einen Membranflächenkontakt nahe an der Einlassöffnung, um dadurch einen dichtenden Kontakt herzustellen, um zu verhindern, dass Fluid durch die Membranöffnungen fließt, und danach gemeinsames Bewegen der ersten und der zweiten Membran, während der dichtende Kontakt aufrechterhalten wird, um das Fluid durch die Auslassöffnung auszustoßen, aus der Pumpenkammer abgezogen wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei mehrere Membranpumpen (10, 63, 67) in einer Anordnung ausgerichtet sind.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die mehreren Membranpumpen (10, 63, 67) durch die Ein-

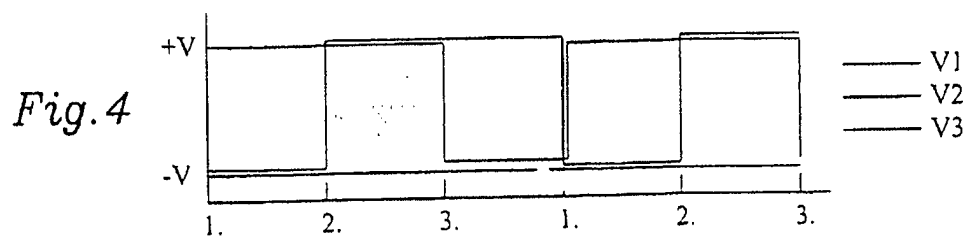
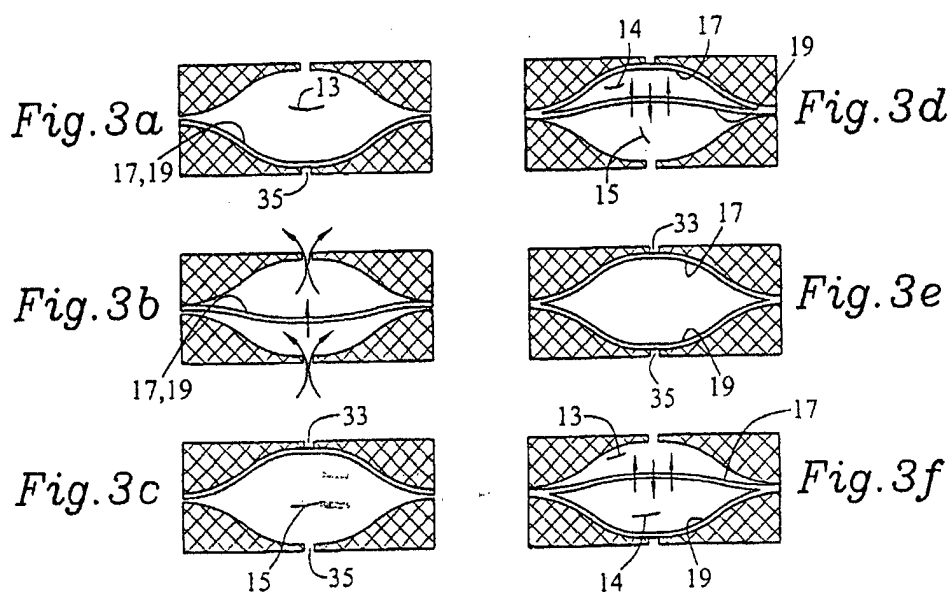
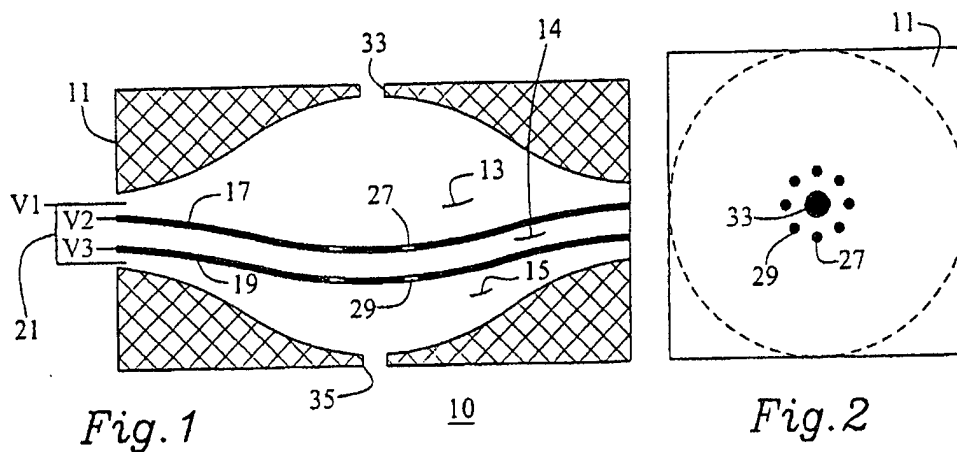
lass- und Auslassöffnungen (33, 35, 65) parallel verbunden sind, um eine plattenartige Anordnung zu bilden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die mehreren Membranpumpen (10, 63, 67) elektrostatisch betätigt werden.

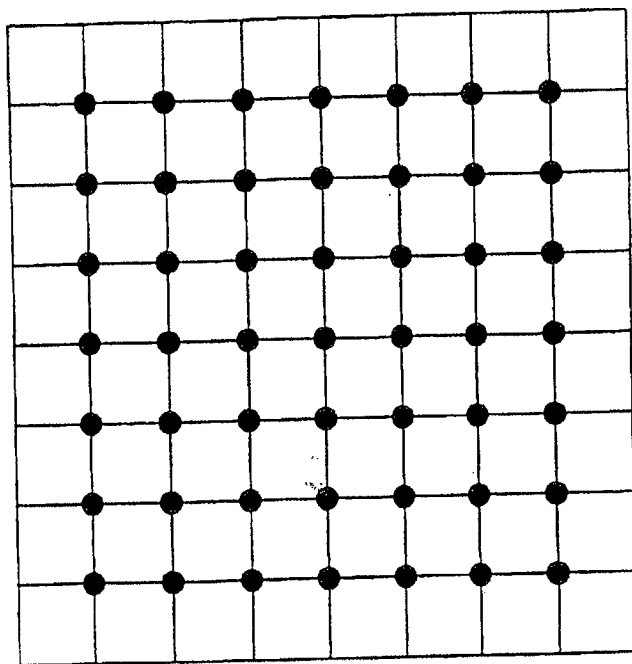
Es folgen 2 Blatt Zeichnungen



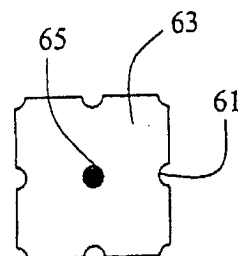
Anhängende Zeichnungen



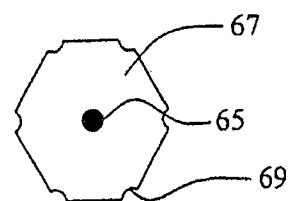




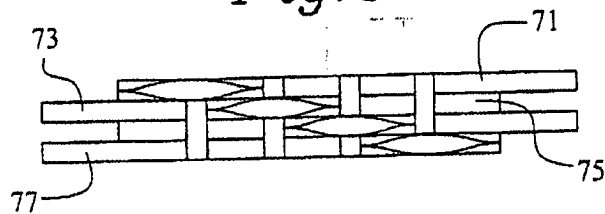
*Fig. 5*



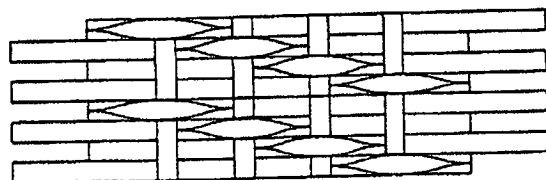
*Fig. 6a*



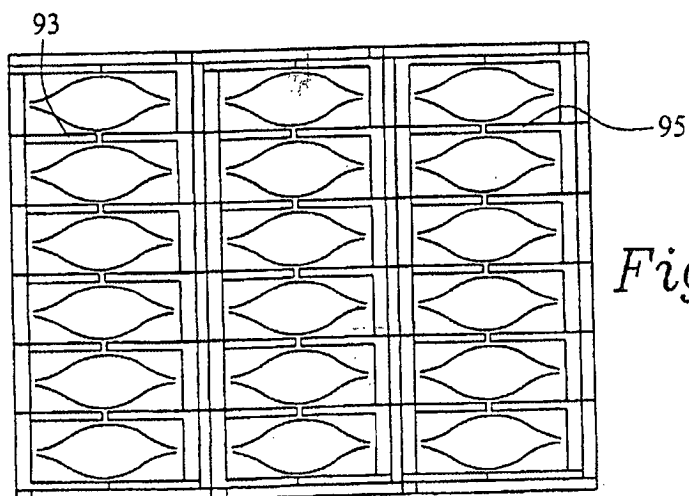
*Fig. 6b*



*Fig. 7*



*Fig. 8*



*Fig. 9*