

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
7. April 2011 (07.04.2011)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2011/038807 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:  
F04B 43/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/005061

(22) Internationales Anmeldedatum:  
18. August 2010 (18.08.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2009 043 644.8  
29. September 2009 (29.09.2009) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme  
von US): KNF NEUBERGER GMBH [DE/DE]; Alter  
Weg 3, 79112 Freiburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BECKER, Erich [DE/  
DE]; Glöcklehofweg 13, 79189 Bad Krozingen (DE).  
HAUSER, Erwin [DE/DE]; Robert Koch Strasse 16,  
79312 Emmendingen (DE).

(74) Anwälte: MAUCHER, Wolfgang et al.; Urachstrasse 23,  
79102 Freiburg i. Br. (DE).

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

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ,  
UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD,  
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,  
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS,  
IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,  
SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,  
GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu  
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz  
2 Buchstabe g)

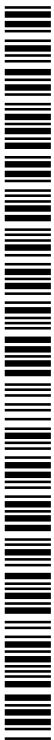
(54) Title: MULTI-STAGE DIAPHRAGM SUCTION PUMP

(54) Bezeichnung : MEHRSTUFIGE MEMBRAN-SAUGPUMPE

(57) Abstract: The invention relates to a multi-stage diaphragm suction pump, comprising at least two pump chambers, each having a fluid inlet having at least one inlet valve, and a fluid outlet having at least one outlet valve, and a suction line, which connects the fluid inlets of the pump chambers. Consecutive pump chambers are connected to each other by means of at least one connection line such that, when a differential pressure in the suction line is reached/exceeded, the diaphragm pump changes from parallel operation of the pump chambers thereof to an operating mode of said pump chambers that is at least also serial. At least one check valve, which opens to the downstream pump stage, is interposed in each of the inflow and outflow regions of the at least one connection line. In order to optimize the pump characteristic of such a diaphragm suction pump, according to the invention at least in one pump chamber, either in order to improve the intake pressure the suction-side opening of the at least one connection line, or in order to improve the suction capacity the pressure-side opening of the at least one connection line, is disposed in the region of the pump chamber, or in the vicinity of the region of the pump chamber, on which the diaphragm associated with said pump chamber rolls off first during a pump cycle. In addition, or instead, according to a further embodiment at least one connection line, in particular between successive pump chambers, has a descending line progression and, for this purpose, compared to the outflow-side line segment, the inflow-side line segment of said at least one connection line is arranged at a higher level.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine mehrstufige Membran-Saugpumpe mit mindestens zwei Pumpräumen, die jeweils einen, wenigstens ein Einlassventil aufweisenden Fluideinlass und einen, zumindest ein Auslassventil aufweisenden Fluidauslass haben, sowie mit einer die Fluideinlässe der Pumpräume verbindenden Saugleitung, wobei einander nachfolgende Pumpräume jeweils über mindestens eine Verbindungsleitung derart miteinander verbunden sind, dass die Membranpumpe bei Erreichen / Überschreiten eines Differenzdruckes in der Saugleitung von einem parallel arbeitenden Betrieb ihrer Pumpräume in einen zumindest auch seriell arbeitenden Betrieb dieser Pumpräume übergeht, und wobei im Einström- und im Ausströmbereich der mindestens einen Verbindungsleitung jeweils wenigstens ein zur nachfolgenden Pumpstufe öffnendes Rückschlagventil zwischen geschaltet

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2011/038807 A2



---

ist. Um die Pumpencharakteristik einer solchen Membran-Saugpumpe zu optimieren, ist erfindungsgemäss vorgesehen, dass wenigstens in einem Pumpraum entweder zur Verbesserung des Ansaugdruckes die saugseitige Öffnung der zumindest einen Verbindungsleitung oder zur Verbesserung des Saugvermögens die druckseitige Öffnung der zumindest einen Verbindungsleitung in dem Bereich des Pumpraumes angeordnet oder diesem Bereich angenähert ist, an dem die diesem Pumpraum zugeordnete Membrane während eines Pumpzyklus zuerst abwält. Zusätzlich oder stattdessen sieht ein weiterer Erfindungsvorschlag vor, dass zumindest eine Verbindungsleitung insbesondere zwischen nachfolgenden Pumpräumen einen fallenden Leitungsverlauf hat und dass dazu der zuströmseitige Leitungsabschnitt im Vergleich zum abströmseitigen Leitungsabschnitt dieser zumindest einen Verbindungsleitung höher angeordnet ist.

### Mehrstufige Membran-Saugpumpe

Die Erfindung betrifft eine mehrstufige Membran-Saugpumpe mit mindestens zwei Pumpräumen, die jeweils einen, wenigstens ein Einlassventil aufweisenden Fluideinlass und einen, zumindest ein Auslassventil aufweisenden Fluidauslass haben, sowie mit  
5 einer die Fluideinlässe der Pumpräume verbindenden Saugleitung, wobei einander nachfolgende Pumpräume jeweils über mindestens eine Verbindungsleitung derart miteinander verbunden sind, dass die Membranpumpe bei Erreichen / Überschreiten eines Differenzdruckes in der Saugleitung von einem parallel arbeitenden  
10 Betrieb ihrer Pumpräume in einen zumindest auch seriell arbeitenden Betrieb dieser Pumpräume übergeht, und wobei im Einström- und im Ausströmbereich der mindestens einen Verbindungsleitung jeweils wenigstens ein, zur nachfolgenden Pumpstufe öffnendes Rückschlagventil zwischengeschaltet ist.

15

Beim Evakuieren zum Beispiel eines Autoklaven, ist einerseits eine große Förderleistung erwünscht, andererseits ein gutes Endvakuum. Die große Förderleistung wird durch Parallelschaltung der Köpfe erreicht, das gute Endvakuum durch mehrstufigen  
20 Betrieb, also durch Serienschaltung. Bei vielen Anwendungen, vor allem im Laborbereich wird ein niedriger Enddruck erforderlich, der nur mit einer mehrstufigen Anordnung erzielt werden kann.

25 Aus der WO 2004/088138 kennt man bereits eine Mikro-Vakuumpumpe, die zwei, durch jeweils eine oszillierende Pumpmembran begrenzte Pumpräume hat. Jeder dieser Pumpräume hat einen, ein Einlassventil aufweisenden Fluideinlass und einen, ein Auslassventil aufweisenden Fluidauslass, wobei eine die Fluideinlässe

der Pumpräume verbindende Saugleitung und eine, die Fluidauslässe verbindende Druckleitung vorgesehen ist. Die Pumpräume sind über eine Verbindungsleitung derart miteinander verbunden, dass die vorbekannte Mikro-Vakuumpumpe bei Erreichen und Überschreiten eines festgelegten Differenzdruckes in der Saugleitung von einem parallel arbeitenden Betrieb ihrer Pumpräume in einen seriell arbeitenden Betrieb dieser Pumpräume übergeht. Sowohl im Einströmbereich als auch im Ausströmbereich der Verbindungsleitung ist jeweils ein, zur nachfolgenden Pumpstufe öffnendes Rückschlagventil zwischengeschaltet. Um den mit der Herstellung der vorbekannten Membran-Saugpumpe verbundenen Aufwand zu reduzieren, weisen die in die Verbindungsleitung zwischengeschalteten Rückschlagventile eine mit den Einlass- und Auslassventilen der beiden Pumpräume vergleichbare Größe auf. Dementsprechend ist auch der zwischen einem der Rückschlagventile einerseits und dem benachbarten Pumpraum andererseits vorgesehene Leitungsabschnitt der Verbindungsleitung vergleichbar groß dimensioniert. Um dennoch in der Startphase eines Pumpvorganges den Fluidstrom zunächst über die parallel geschalteten Einlass- und Auslassventile führen zu können, ist in die Verbindungsleitung eine Drossel zwischengeschaltet, die erst bei Erreichen einer entsprechenden Druckdifferenz und einer verminderten Pumpleistung ihre drosselnde Wirkung verliert.

25

Zu Beginn des Saugvorganges nimmt die vorbekannte Mikro-Vakuumpumpe eine parallel arbeitende Konfiguration ihrer Pumpräume an, weil die in der Verbindungsleitung vorgesehene Drossel bewirkt, dass sich das System aufgrund der noch fehlenden Behinderungen in der Luftzirkulation anfänglich leichter parallel arbeitend ausbilden kann. Sobald diese parallel arbeitende Konfiguration in den Bereich des Endvakuums kommt und die Druckdifferenz in der Saugleitung damit ein Maximum erreicht,

30

kann das Fluid viel einfacher durch die in der Verbindungsleitung befindliche Drossel strömen, so dass es gleichzeitig auch in einen seriellen Betrieb ihrer Pumpräume konfiguriert wird, um nun ein höchstmögliches Endvakuum zu erzielen.

5

Nachteilig ist jedoch, dass die Rückschlagventile der vorbekannten Membran-Pumpe eine mit den Einlass- und Auslassventilen vergleichbare Größe aufweisen, und dass die zwischen den Rückschlagventilen vorgesehenen Leitungsabschnitte der Verbindungsleitung einen entsprechend großen lichten Leitungsquerschnitt haben, so dass sich in diesen Leitungsabschnitten ein dementsprechend großer schädlicher Raum ergibt, der sich auf das erreichbare Endvakuum der vorbekannten Membran-Saugpumpe auswirkt und den Umschaltpunkt zwischen paralleler und serieller Betriebsweise negativ beeinflusst.

10  
15

Um in möglichst kurzer Zeit ein möglichst hohes Endvakuum zu erreichen und um sich an den optimalen Umschaltpunkt zwischen parallelem und seriellem Betrieb anzunähern, hat man auch bereits eine mehrstufige Membran-Pumpe geschaffen, bei der die im Einström- und im Ausströmbereich der Verbindungsleitung(en) vorgesehenen Rückschlagventile im Vergleich zu den Einlass- und Auslassventilen der Pumpräume kleiner ausgebildet sind und dass diesen Rückschlagventilen jeweils ein zum benachbarten Pumpraum hin offener Leitungsabschnitt der Verbindungsleitung mit einem im Vergleich zu den Einlass- und Auslassventilen kleineren lichten Leitungsquerschnitt zugeordnet ist (vgl. DE 10 2007 057 945 A1). Aus einem Vergleich der Fig. 1 und 2 und der 90°-Schnittdarstellung in Fig. 4 der DE 10 2007 057 945 A1 wird deutlich, dass auch bei dieser vorbekannten Membran-Pumpe die Ein- und Auslassöffnungen der Verbindungsleitungen in der Kurbelachsebene angeordnet sind. Diese vorbekannte Membran-Pumpe weist in der zumindest einen, ihre Pumpräume miteinander

20  
25  
30

verbindenden Verbindungsleitung sowohl einström- als auch ausströmseitig Rückschlagventile auf, die im Vergleich zu den Einlass- und Auslassventilen dieser Pumpräume wesentlich kleiner dimensioniert sind. Da der bewegliche Ventilkörper dieser Rückschlagventile somit auch geringere bewegliche Massen aufweisen und dementsprechend schneller reagieren kann, wird eine Annäherung an den optimalen Umschaltpunkt zwischen paralleler und serieller Betriebsweise wesentlich begünstigt. Da die Verbindungsleitung erst im Bereich des optimalen Umschaltpunktes wirksam wird, und da die Verbindungsleitungen in dieser Pumpphase nur vergleichsweise geringe Fördermengen zu bewältigen haben, kann der lichte Querschnitt der Verbindungsleitungen im Vergleich zur Saug- und zur Druckleitung vergleichsweise klein ausgeführt werden. Das gestattet auch, die in der zumindest einen Verbindungsleitung vorgesehenen Rückschlagventile mit einem im Vergleich zu den Saug- und Druckventilen sehr geringen Durchflussquerschnitt und entsprechend geringem Durchmesser auszuführen. Somit können die Rückschlagventile aufgrund der geringen Masse ihres beweglichen Ventil- oder Sperrkörpers beim Schließen der Saug- und Druckventile schnell reagieren und verhindern dadurch, dass die aus DE 10 2007 057 945 A1 vorbekannte Membran-Pumpe in einem Übergangsbereich der Druckdifferenzen nicht oder nur ungenügend fördert. Da den Rückschlagventilen jeweils ein zum benachbarten Pumpraum führender Leitungsabschnitt zugeordnet ist, der im Vergleich zu den Einlass- und Auslassventilen einen wesentlichen kleineren lichten Leitungsquerschnitt hat, kann der zwischen einem Rückschlagventil einerseits und dem benachbarten Pumpraum andererseits verbleibende schädliche Raum derart gering gehalten werden, dass auch die Erzeugung eines sehr niedrigen Endvakuums möglich ist. Die aus DE 10 2007 057 945 A1 vorbekannte Membran-Pumpe erlaubt daher mit vergleichsweise einfachen technischen Mitteln die Erzeugung eines möglichst

geringen Endvakuum in möglichst kurzer Zeit.

Bei den aus WO 2004/088138 und aus DE 10 2007 057 945 A1 vor-  
bekannten Membran-Pumpen sind die druck- und die saugseitigen  
5 Öffnungen der Verbindungsleitungen etwa mittig zwischen den  
Druck- und den Saugventilen der Pumpräume in einer achsparallel  
zur Pleuedrehachse angeordneten Linie vorgesehen. Da in jedem  
Pumpraum die an der Pumpraumwand abwälzende Arbeitsmembrane die  
Öffnungen der Verbindungsleitungen erst etwa in deren Totpunkt  
10 erreicht, können über diese Öffnungen der Verbindungsleitungen  
Verlustströme entweichen, welche die Leistungsfähigkeit dieser  
Membran-Pumpen ungünstig beeinflussen.

Es besteht daher die Aufgabe, eine mehrstufige Membran-Pumpe  
15 der eingangs erwähnten Art zu schaffen, die sich hinsichtlich  
ihres Ansaugdruckes oder ihres Saugvermögens durch optimierte  
Pumpencharakteristika auszeichnet.

Eine erfindungsgemäße Lösung dieser Aufgabe besteht bei der  
20 mehrstufigen Membran-Pumpe der eingangs erwähnten Art insbe-  
sondere darin, dass wenigstens in einem Pumpraum entweder zur  
Verbesserung des Ansaugdruckes die saugseitige Öffnung der  
zumindest einen Verbindungsleitung oder zur Verbesserung des  
Saugvermögens die druckseitige Öffnung der zumindest einen  
25 Verbindungsleitung in dem Bereich des Pumpraumes angeordnet  
oder diesem Bereich angenähert ist, an den die diesem Pumpraum  
zugeordnete Membrane während eines Pumpzyklus zuerst abwälzt.

Die Pumpräume der erfindungsgemäßen Membran-Pumpe sind über  
30 Verbindungsleitungen miteinander verbunden. Dabei weisen die in  
Förderrichtung nachfolgenden Pumpräume auch eine saugseitige  
Öffnung auf, die einer Verbindungsleitung zugeordnet ist. Zur  
Verbesserung des Ansaugdruckes kann die in zumindest einem der

nachfolgenden Pumpräume vorgesehene saugseitige Öffnung wenigstens einer Verbindungsleitung in dem Bereich des Pumpenraumes angeordnet oder diesem Bereich angenähert sein, in den die diesem Pumpraum zugeordnete Membrane während eines Pumpzyklus  
5 zuerst abwälzt. Bei dieser Ausführungsform wird also zur Verbesserung des Ansaugdruckes die Anordnung der saugseitigen Öffnung der zumindest einen Verbindungsleitung aus der im oberen Totpunkt quer zur Pleuelschwenkebene orientierten Mittellinie heraus vorzugsweise um etwa  $-45^\circ$  in Richtung zu dem  
10 Bereich des Pumpraumes gedreht, in dem die diesem Pumpraum zugeordnete Membrane während eines Pumpzyklus zuerst abwälzt. Die Umschaltung vom parallelen zum seriellen Pumpbetrieb der mehrstufigen Membran-Pumpe kommt nämlich zustande, wenn der Ansaugdruck in der folgenden Stufe niedriger ist als der  
15 Ausschiebedruck in der vorherigen Stufe. Damit dieser Effekt auftreten kann, müssen die Kurbelwinkel des dem Pleuel zugeordneten Kurbeltriebes von Kopf zu Kopf vorzugsweise um  $180^\circ$  versetzt angeordnet sein. Je näher nun die kleine saugseitige Öffnung einer Verbindungsleitung in der Pleuelschwinge-  
20 ebene liegt, und zwar auf der Seite des Dichtungsraumes, auf der das Pleuel beim Aufwärtshub durch die Kippbewegung des Pleuels in Drehrichtung ausgelenkt wird und durch die Nähe zur Pleuelschwinge-  
ebene, um so niedriger ergibt sich der Ansaugdruck. Der niedrigste Ansaugdruck in der nächsten Stufe ergibt  
25 sich, wenn die kleine saugseitige Öffnung zumindest einer Verbindungsleitung genau in der Pleuelschwinge-  
ebene liegt. Jede Lage zwischen dem Nullpunkt und der Pleuelschwinge-  
ebene ergibt ihren eigenen Ansaugdruck. Auf diese Weise kann man den Übergang der Saugkurve der parallel geschalteten Pumpe zur  
30 Saugkurve der in Serie geschalteten Pumpe beeinflussen. Dabei ist eine Beeinflussung schon möglich, wenn auch nur in einer der Pumpstufen die Anordnung der saugseitigen Öffnung in die erwähnte Richtung verändert wird. Der Prozess beginnt bei der

ersten Pumpstufe und setzt sich nach und nach über die weiteren Köpfe und Pumpstufen fort. Durch gegebenenfalls auch unterschiedliche Schwenkwinkel in der Anordnung der saugseitigen Öffnung der die Pumpstufen miteinander verbindenden Verbindungsleitungen in Richtung der Pleuelschwinge ebene kann der Übergangsbereich im Kurvenverlauf von Ansaugdruck und Saugvermögen beeinflusst werden.

Soll stattdessen das Saugvermögen verbessert werden, ist es auch möglich, wenigstens in einer Pumpstufe die druckseitige Öffnung der zumindest einen Verbindungsleitung in dem Bereich des Pumpraumes anzuordnen oder diesem Bereich anzunähern, an dem die diesem Pumpraum zugeordnete Membrane während eines Pumpzyklus zuerst abwältzt. Zur Verbesserung des Saugvermögens ist es also möglich, die Anordnung der druckseitigen Öffnung der zumindest einen Verbindungsleitung aus der im oberen Totpunkt quer zur Pleuelschwenkebene orientierten Mittellinie heraus vorzugsweise um etwa  $+45^\circ$  in Richtung zu dem Bereich des Pumpraumes zu verdrehen, in dem die diesem Pumpraum zugeordnete Membrane während eines Pumpzyklus zuerst abwältzt. Da bei dieser Ausführung die in diesem Pumpraum vorgesehene druckseitige Öffnung der Verbindungsleitung frühzeitig durch die an der Pumpraumwand abwältzende Arbeitsmembrane verschlossen wird, können etwaige Verlustströme, die ansonsten über die Verbindungsleitungen führen, deutlich reduziert und das Saugvermögen verbessert werden.

Dabei sieht eine bevorzugte Ausführungsform gemäß der Erfindung vor, dass jedem Pumpraum der Membran-Pumpe ein in einer Pleuelschwinge ebene verschwenkbarer Pleuel zugeordnet ist und dass zumindest in einem Pumpraum die saugseitige oder die druckseitige Öffnung zumindest einer Verbindungsleitung in der Pleuelschwinge ebene vorgesehen ist.

Eine Optimierung der Pumpencharakteristika wird noch zusätzlich begünstigt, wenn die saugseitige oder die druckseitige Öffnung der zumindest einen Verbindungsleitung in dem an die Einspann-  
5 zone der Membrane angrenzenden Randbereich des Pumpraumes angeordnet ist.

Eine bevorzugte Ausführungsform gemäß der Erfindung sieht vor, dass zumindest in einem Pumpraum die saugseitige oder die  
10 druckseitige Öffnung der zumindest einen Verbindungsleitung und das Saugventil etwa auf einer quer zur Pleuelschwingebene verlaufenden Linie angeordnet sind.

Solche mehrstufigen Membran-Saugpumpen werden als Vakuum-Pumpen  
15 häufig zum Abpumpen feuchter Dämpfe eingesetzt. Bei ungünstigen Druck- und Temperaturverhältnissen kann es dabei zu einer Kondensatbildung in der letzten und den vorangegangenen Stufen kommen. Das wird üblicherweise durch Einsatz eines Gasballastventils verhindert. Je nach den Verdampfungseigenschaften des  
20 Kondensats führt ein solches Gasballastventil aber zu einer erheblichen Verschlechterung des Endvakuums.

Eine Methode, trotz Kondensatbildung das maximale Endvakuum zu erreichen, stellt das Ausblasen des aufgetretenen Kondensats  
25 mit Atmosphärendruck dar (vgl. DE 198 51 680 C2 und DE 100 21 454 A1). Ein Nachteil dieser Methode liegt allerdings in der Unterbrechung des Evakuierungsvorganges während des Ausblasens.

Im parallelen Betrieb der eingangs erwähnten mehrstufigen  
30 Membran-Saugpumpen ist der maximale Enddruck regelmäßig höher als der Verdampfungsdruck des Kondensats. Das Kondensat hat deshalb noch keinen Einfluss auf den Evakuierungsvorgang. Im Serienbetrieb solcher Membran-Saugpumpen unterschreitet der

Enddruck der Pumpe allerdings oft den Verdampfungspunkt des Kondensats, so dass aufgrund der Rückexpansion des Kondensats der Enddruck nicht erreicht werden kann. Deshalb muss das Kondensat kontinuierlich ausgeblasen werden.

5

Zweckmäßig ist es, wenn zumindest eine Verbindungsleitung insbesondere zwischen nachfolgenden Pumpräumen einen fallenden Leitungsverlauf hat und wenn dazu der zuströmseitige Leitungsabschnitt im Vergleich zum abströmseitigen Leitungsabschnitt dieser zumindest einen Verbindungsleitung höher angeordnet ist. Mit dieser fallenden Anordnung der zumindest einen, insbesondere zwischen nachfolgenden Pumpräumen vorgesehenen Verbindungsleitung wird ein Ausblasen des in den nachfolgenden Pumpräumen eventuell auftretenden Kondensats erleichtert und die Pumpencharakteristik der erfindungsgemäßen Membran-Saugpumpe im Hinblick auf ihr Saugvermögen noch zusätzlich begünstigt. Dabei tritt das Kondensat regelmäßig in der Nähe des Atmosphärendruckes und somit meist in den letzten drei Stufen der in Serie geschalteten Pumpräume der mehrstufigen Membran-Saugpumpe auf. Eine gemäß diesem Erfindungsvorschlag ausgestaltete Membranpumpe zeichnet sich durch einen kontinuierlichen Evakuierungsprozess aus, obwohl ständig etwaiges Kondensat durch das Arbeitsgas selbst ausgeblasen wird.

10

15

20

25

Bei zwei- oder mehrköpfigen Pumpen bietet sich die Boxerform als raumsparende Bauform an. Eine bevorzugte Ausführungsform gemäß der Erfindung sieht daher vor, dass die Pumpstufen der mehrstufigen Membranpumpe paarweise in einer Boxerform angeordnet sind.

30

Bei einer in liegender Lage befindlichen Boxerform können beidseitig die zur Achse parallel liegenden Köpfe leicht horizontal verschaltet werden.

Strebt man allerdings gemäß dem eingangs erwähnten Erfindungsvorschlag eine Optimierung der Saugkurve durch eine Veränderung der Umschaltdrücke mittels einer versetzten Anordnung der im Pumpraum vorgesehenen Öffnungen der Verbindungsleitungen an, müssen die in den auf beiden Seiten des Pumpgehäuses angebrachten Köpfen befindlichen saugseitigen Öffnungen der Verbindungsleitungen in Richtung der Pleuelschwinge ebene und auf der Seite des Kopfes, bei der das Pleuel bei Aufwärtshub durch die Kippbewegung in Drehrichtung ausgelenkt wird, angeordnet sein. Dadurch kommt in der zweiten Pumpstufe die saugseitige Öffnung über der Achse zu liegen, während die druckseitige Öffnung in der dritten Pumpstufe unter die Achse gelegt werden kann, so dass bei liegender Lage einer solchen Boxerpumpe eine fallende Verbindungsleitung geschaffen wird.

Wird die oben beschriebene Boxerpumpe demgegenüber in stehender Lage betrieben, ist die Verbindungsleitung zwischen der zweiten und der dritten Pumpstufe horizontal angeordnet, während die Verbindungsleitung zwischen der dritten und der vierten Pumpstufe fallend angeordnet ist.

Eine bevorzugte Ausführungsform gemäß der Erfindung sieht daher vor, dass die saugseitige Öffnung der in der zweiten Pumpstufe vorgesehenen Verbindungsleitung oberhalb der Kurbelachse und/oder die druckseitige Öffnung der in der dritten Pumpstufe vorgesehenen Verbindungsleitung unterhalb der Kurbelachse angeordnet ist.

Um das Kondensat kontinuierlich ausblasen zu können, sollte der Querschnitt der Verbindungsleitungen zwischen den vergleichsweise klein ausgestalteten Rückschlagventilen so ausgelegt werden, dass die darin auftretende Gasgeschwindigkeit zum

Ausblasen des Kondensats ausreicht. Bei fallender oder horizontaler Anordnung der Verbindungsleitungen kann dies zur niedrigsten wirksamen Gasgeschwindigkeit führen. Eine bevorzugte Weiterbildung gemäß der Erfindung sieht daher vor, dass die Verbindungsleitungen einen Leitungsdurchmesser haben, der gleich oder kleiner der Hälfte des lichten Leitungsquerschnitts der zu den Druck- oder Saugventilen führenden Druck- oder Saugleitungen ist.

- 10 Eine bevorzugte Ausführungsform gemäß der Erfindung sieht vor, dass die Membran-Saugpumpe vier Pumpräume hat und/oder vierstufig ausgestaltet ist.

Weiterbildungen gemäß der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen sowie der Zeichnung. Nachstehend wird die Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele noch näher beschrieben.

Es zeigt:

- 20 Fig.1a eine mehrstufige Membran-Saugpumpe in einer schematischen Draufsicht, wobei die Pumpstufen dieser Saugpumpe über Verbindungsleitungen miteinander verbunden sind, die zu den Pumpräumen führende saug- und druckseitige Öffnungen haben,

25

- Fig.1b die Membran-Saugpumpe aus Fig.1a in einer schematischen Darstellung ihrer Pumpräume, wobei in den Pumpräumen die Anordnung der Druck- und Saugventile sowie der druck- und saugseitigen Öffnungen der Verbindungsleitungen dargestellt sind,

30

- Fig.1c die Membran-Saugpumpe aus Fig.1a und 1b in einer schematischen Seitenansicht mit Blick auf den An-

triebsmotor,

Fig.2a eine mit Fig.1a bis 1c vergleichbare Membran-Saugpumpe in einer schematischen Draufsicht,

5

Fig.2b die mehrstufige Membran-Saugpumpe aus Fig.2a in einer schematischen Darstellung ihrer Pumpräume, wobei die druckseitigen Öffnungen der Verbindungsleitungen in den Pumpräumen im Vergleich zu der in Fig.1b gezeigten Anordnung derart versetzt angeordnet sind, dass ein hohes Saugvermögen begünstigt wird,

10

Fig.2c die Membran-Saugpumpe aus Fig.2a und 2b in einer schematischen Seitenansicht mit Blick auf den Antriebsmotor,

15

Fig.3a eine gemäß dem Stand der Technik ausgestaltete mehrstufige Membran-Saugpumpe in einer schematischen Draufsicht,

20

Fig.3b die Membran-Saugpumpe aus Fig.3a in einer schematischen Darstellung ihrer Pumpräume, wobei in den Pumpräumen die Anordnung der Druck- und Saugventile sowie der druck- und saugseitigen Öffnungen der Verbindungsleitungen dargestellt sind und wobei die saug- und druckseitigen Öffnungen der zwischen den Pumpstufen vorgesehenen Verbindungsleitungen praktisch auf einer zwischen dem Saug- und dem Druckventil liegenden Linie angeordnet sind,

25

30

Fig.3c die Membran-Saugpumpe aus Fig.3a und 3b in einer schematischen Seitenansicht mit Blick auf den Antriebsmotor,

- Fig.4 den Kurvenverlauf von Ansaugdruck und Saugvermögen bei den in Fig.1a bis 1c, 2a bis 2c und 3a bis 3c dargestellten Membranpumpen,
- 5
- Fig.5a eine mehrstufige Membran-Saugpumpe in einer schematischen Draufsicht,
- Fig.5b eine Membran-Saugpumpe in einer schematischen Darstellung ihrer Pumpräume mit einer mit Fig.3b vergleichbaren Anordnung der Saug- und Druckventile sowie der saug- und druckseitigen Öffnungen der Verbindungsleitungen,
- 10
- 15 Fig.5c eine Membran-Saugpumpe in einer schematischen Darstellung ihrer Pumpräume, wobei die Anordnung der Saug- und der Druckventile sowie der saug- und druckseitigen Öffnungen der Verbindungsleitungen der in Fig.1b gezeigten Anordnung entspricht,
- 20
- Fig.5d eine Membran-Saugpumpe in einer schematischen Darstellung ihrer Pumpräume, wobei die Anordnung der Saug- und Druckventile sowie der saug- und druckseitigen Öffnungen der Verbindungsleitungen der in
- 25 Fig.2b gezeigten Anordnung entspricht,
- Fig.5e eine mehrstufige Membran-Saugpumpe in einer Seitenansicht mit Blick auf den Antriebsmotor,
- 30 Fig.6 eine zum Ausblasen des in den nachfolgenden Pumpräumen eventuell auftretenden Kondensats besonders vorteilhafte Anordnung der zwischen den Pumpstufen vorgesehenen Verbindungsleitungen einer in stehender

Boxerform ausgebildeten Membran-Saugpumpe in einer schematischen Draufsicht (Fig.6a) sowie in einer schematischen Darstellung ihrer Pumpräume (Fig.6b), wobei die Anordnung der Druck- und Saugventile sowie der saug- und druckseitigen Öffnungen der Verbindungsleitungen der in den Figuren 3b und 5b gezeigten Anordnung entspricht,

Fig.7 eine zum Ausblasen des in den nachfolgenden Pumpräumen eventuell auftretenden Kondensats besonders vorteilhafte Anordnung der zwischen den Pumpstufen vorgesehenen Verbindungsleitungen einer in stehender Boxerform ausgebildeten Membran-Saugpumpe in einer schematischen Draufsicht sowie in einer schematischen Darstellung ihrer Pumpräume, wobei die Anordnung der Saug- und Druckventile sowie der saug- und druckseitigen Öffnungen der Verbindungsleitungen der in den Figuren 1b und 5c gezeigten Anordnung im wesentlichen entspricht,

Fig.8 eine zum Ausblasen des in den nachfolgenden Pumpräumen eventuell auftretenden Kondensats besonders vorteilhafte Anordnung der zwischen den Pumpstufen vorgesehenen Verbindungsleitungen einer in stehender Boxerform ausgebildeten Membran-Saugpumpe in einer schematischen Draufsicht (Fig.8a) und in einer schematischen Darstellung ihrer Pumpräume (Fig.5b), wobei die Anordnung der Saug- und Druckventile und der saug- und druckseitigen Öffnungen der Verbindungsleitungen der in den Figuren 2b und 5d gezeigten Anordnung entspricht,

Fig.9 eine zum Ausblasen des in den nachfolgenden

Pumpräumen eventuell auftretenden Kondensats besonders vorteilhafte Anordnung der zwischen den Pumpstufen vorgesehenen Verbindungsleitungen einer in liegender Boxerform ausgebildeten Membran-Saugpumpe in einer schematischen Seitenansicht (Fig.9a) sowie in einer um 90° gedrehten schematischen Seitenansicht (Fig.9b),

5

Fig.10 eine mit Fig.9a und 9b vergleichbare Membran-Saugpumpe in einer schematischen Seitenansicht (Fig.10a) und in einer um 90° gedrehten Seitenansicht (Fig.10b), wobei die Pumpstufen dieser Membran-Saugpumpe über abweichend angeordnete Verbindungsleitungen miteinander verbunden sind, und

10

15

Fig.11 einen schematischen Vergleich des lichten Querschnitts der zwischen den Pumpstufen vorgesehenen Verbindungsleitungen einerseits und der zum Saugventil oder zum Druckventil führenden Ein- bzw. Auslasskanäle andererseits.

20

In den Figuren 1 bis 3 und 5 bis 10 sind verschiedene Ausführungen einer mehrstufigen Membran-Saugpumpe 10,100 dargestellt. Die hier dargestellten Pumpenausführungen 10,100 weisen jeweils vier Pumpräume 1,2,3 und 4 auf, die paarweise in einer Boxerform angeordnet sind. Jeder Pumpraum 1,2,3,4 dieser Pumpenausführungen weist jeweils einen, ein Einlassventil aufweisenden Fluideinlass 6 und einen, ein Auslassventil aufweisenden Fluidauslass 7 auf. Dabei sind die Fluideinlässe 6 der Pumpräume 1,2,3,4 über eine gemeinsame Saugleitung verbunden.

25

30

Darüber hinaus sind die stufenweise einander nachfolgenden Pumpräume 2,3,4 jeweils über eine Verbindungsleitung 8,9,11

derart miteinander verbunden, dass die hier dargestellten Pumpenausführungen 10,100 bei Erreichen oder Überschreiten eines Differenzdruckes in der Saugleitung von einem parallel arbeitenden Betrieb ihrer Pumpräume 1,2,3,4 in einen zumindest  
5 auch seriell arbeitenden Betrieb dieser Pumpräume 1,2,3,4 übergeht. Dabei sind im Einström- und im Ausströmbereich der Verbindungsleitungen 8,9,11 jeweils wenigstens ein zur nachfolgenden Pumpstufe öffnendes Rückschlagventil zwischengeschaltet. Die Rückschlagventile und die in jedem Pumpraum  
10 vorgesehenen Druck- und Saugventile werden von den Druckdifferenzen des zu fördernden Mediums gesteuert.

Wie in Fig.11 angedeutet ist, sind die im Einström- und im Ausströmbereich der Verbindungsleitungen 8,9,11 vorgesehenen  
15 Rückschlagventile im Vergleich zu den Einlass- und Auslassventilen der Pumpräume 1,2,3,4 kleiner ausgebildet, wobei diesen Rückschlagventilen jeweils ein zum benachbarten Pumpraum hin offener Leitungsabschnitt der Verbindungsleitung mit einem im Vergleich zu den Einlass- und Auslassventilen kleineren  
20 lichten Leitungsquerschnitt zugeordnet ist. Die hier dargestellten Membranpumpen weisen in ihren, die Pumpräume 1,2,3,4 miteinander verbindenden Verbindungsleitungen 8,9,11 sowohl einström- als auch ausströmseitig Rückschlagventile auf, die im Vergleich zu den Einlass- und Auslassventilen dieser Pumpräume  
25 1,2,3,4 wesentlich kleiner dimensioniert sind. Da der bewegliche Ventilkörper dieser Rückschlagventile somit auch geringere bewegliche Massen aufweisen und dementsprechend schneller reagieren kann, wird eine Annäherung an den optimalen Umschaltpunkt zwischen paralleler und serieller Betriebsweise  
30 wesentlich begünstigt. Da die Verbindungsleitungen 8,9,11 erst im Bereich des optimalen Umschaltpunktes wirksam werden, und da die Verbindungsleitungen 8,9,11 in dieser Pumpphase nur vergleichsweise geringe Fördermengen zu bewältigen haben, kann

der lichte Querschnitt der Verbindungsleitungen 8,9,11 im Vergleich zur Saug- und zur Druckleitung vergleichsweise klein ausgeführt werden. Das gestattet auch, die in der zumindest einen Verbindungsleitung 8,9,11 vorgesehenen Rückschlagventile mit einem im Vergleich zu den Saug- und Druckventilen sehr geringen Durchflussquerschnitt und entsprechend geringem Durchmesser auszuführen. Somit können die Rückschlagventile aufgrund der geringen Masse ihres beweglichen Ventil- oder Sperrkörpers beim Schließen der Saug- und Druckventile schnell reagieren und verhindern dadurch, dass die hier dargestellten Pumpenausführungen in einem Übergangsbereich der Druckdifferenzen nicht oder nur ungenügend fördern. Da den Rückschlagventilen jeweils ein zum benachbarten Pumpraum führender Leitungsabschnitt zugeordnet ist, der im Vergleich zu den Einlass- und Auslassventilen einen wesentlich kleineren lichten Leitungsquerschnitt hat, kann der zwischen einem Rückschlagventil einerseits und dem benachbarten Pumpraum andererseits verbleibende schädliche Raum derart gering gehalten werden, dass auch die Erzeugung eines sehr niedrigen Endvakuums möglich ist. Die hier dargestellten Pumpenausführungen erlauben daher mit vergleichsweise einfachen technischen Mitteln die Erzeugung eines möglichst geringen Endvakuums in möglichst kurzer Zeit.

In den Figuren 3a bis 3c und in Fig.5b sind Pumpenausführungen dargestellt, die hinsichtlich der Anordnung der zu den Verbindungsleitungen führenden Öffnungen im Pumpraum im Wesentlichen dem bisher bekannten Stand der Technik entsprechen. Wie aus den Figuren 3b und 5b deutlich wird, sind im bisher bekannten Stand der Technik die druck- und die saugseitigen Öffnungen der Verbindungsleitungen etwa mittig zwischen den Druck- und den Saugventilen der Pumpräume in einer achsparallel zur Pleuedrehachse angeordneten Linie vorgesehen. Da in jedem Pumpraum 1,2,3,4 die an der Pumpraumwand abwälzende

Arbeitsmembrane die Öffnungen 12,13 der Verbindungsleitungen 8,9,11 erst etwa in deren Totpunkt erreicht, können über diese Öffnungen 12,13 der Verbindungsleitungen Verlustströme entweichen, welche die Leistungsfähigkeit dieser Pumpenausführungen ungünstig beeinflussen.

Wie aus dem in Fig.4 mit „0°“ gekennzeichneten Kurvenverlauf des Ansaugdrucks und des Saugvermögens deutlich wird, weisen die in den Figuren 3a bis 3c und 5b gezeigten Pumpenausführungen einen vergleichsweise niedrigen Ansaugdruck und gleichzeitig auch ein vergleichsweise geringes Saugvermögen auf.

In Fig. 3c ist angedeutet, dass die druck- und saugseitigen Öffnungen der zumindest einen Verbindungsleitung auf einer quer zur Pleuelschwenkebene orientierten Mittellinie L angeordnet sind. Vergleicht man die Fig.1c mit der Fig.3c, so wird deutlich, dass die Anordnung der saugseitigen Öffnung der zumindest einen Verbindungsleitung zur Verbesserung des Ansaugdruckes aus der im oberen Totpunkt quer zur Pleuelschwenkebene orientierten Mittellinie L heraus beispielsweise um etwa -45° in Richtung zu dem Bereich des Pumpraumes gedreht werden kann, in dem die diesem Pumpraum zugeordnete Membran während eines Pumpzyklus zuerst abwältzt. Dieser Bereich ist in Fig.3c mit „B“ und „C“ gekennzeichnet. Demgegenüber wird aus einem Vergleich der Figuren 2c und 3c deutlich, dass zur Verbesserung des Saugvermögens die Anordnung der druckseitigen Öffnung der zumindest einen Verbindungsleitung aus der im oberen Totpunkt quer zur Pleuelschwenkebene orientierten Mittellinie L heraus vorzugsweise um etwa +45° in Richtung zu dem Bereich des Pumpraumes verdreht werden kann, in dem die diesem Pumpraum zugeordneten Membrane während eines Pumpzyklus zuerst abwältzt. Dabei lassen sich die angestrebten Vorteile bereits erreichen, wenn wenigstens im Pumpraum der in Förderrichtung zweiten

Pumpstufe zur Verbesserung des Ansaugdruckes die saugseitige Öffnung der zumindest einen Verbindungsleitung verdreht wird beziehungsweise wenn zur Verbesserung des Saugvermögens wenigstens im Pumpraum der in Förderrichtung ersten Pumpstufe  
5 die druckseitige Öffnung verdreht wird.

Demgegenüber zeichnen sich die in den Figuren 1,2,5c,5d,7,8,9 und 10 dargestellten Pumpenausführungen 10 durch hinsichtlich ihres Ansaugdruckes oder ihres Saugvermögens optimierte Pumpencharakteristika aus.  
10

So ist zur Verbesserung des Ansaugdrucks bei den in den Figuren 1,5c,7,9 und 10 gezeigten Pumpenausführungen die saugseitige Öffnung 12 der zumindest einen Verbindungsleitung 8,9,11 in dem Bereich des Pumpraumes angeordnet oder diesem Bereich angenähert, an dem die diesem Pumpraum zugeordnete Membrane während eines Pumpzyklus zuerst abwältzt. Die saugseitige Öffnung 12 ist also aus der Pumpenlängsmittlebene heraus vorzugsweise etwa um  $45^\circ$  in Richtung zu dem Bereich des Pumpenraumes 2,3,4 versetzt und somit in der Hemisphere des Pumpenraumes 2,3,4 angeordnet, in den die diesen Pumpraum zugewandte Membrane während eines Pumpzyklusses zuerst abwältzt.  
15  
20

Die Umschaltung vom parallelen zum seriellen Pumpbetrieb der hier dargestellten mehrstufigen Membran-Pumpen kommt nämlich  
25 zustande, wenn der Ansaugdruck in der folgenden Stufe niedriger ist als der Ausschiebedruck in der vorherigen Stufe. Damit dieser Effekt auftreten kann, müssen die Kurbelwinkel des dem Pleuel zugeordneten Kurbeltriebes von Kopf zu Kopf vorzugsweise um  $180^\circ$  versetzt angeordnet sein. Je näher nun die kleine saugseitige Öffnung 12 einer Verbindungsleitung 8,9 oder 11 in der Pleuelschwinge ebene liegt, und zwar auf der Seite des Dichtungsraumes, auf der das Pleuel beim Aufwärtshub durch die  
30

Kippbewegung des Pleuels in Drehrichtung ausgelenkt wird und durch die Nähe zur Pleuelschwinge ebene, um so niedriger ergibt sich der Ansaugdruck. Der niedrigste Ansaugdruck in der nächsten Stufe ergibt sich, wenn die kleine saugseitige Öffnung 12 zumindest einer Verbindungsleitung 8,9,11 genau in der Pleuelschwinge ebene liegt. Jede Lage zwischen dem Nullpunkt und der Pleuelschwinge ebene ergibt ihren eigenen Ansaugdruck. Auf diese Weise kann man den Übergang der Saugkurve der parallel geschalteten Pumpe zur Saugkurve der in Serie geschalteten Pumpe beeinflussen. Dabei ist eine Beeinflussung schon möglich, wenn auch nur in einer der Pumpstufen 2,3,4 die Anordnung der saugseitigen Öffnung 12 in die erwähnte Richtung verändert wird. Der Prozess beginnt bei der ersten Pumpstufe 1 und setzt sich nach und nach über die weiteren Köpfe und Pumpstufen 2,3,4 fort. Durch gegebenenfalls auch unterschiedliche Schwenkwinkel in der Anordnung der saugseitigen Öffnung 12 der die Pumpstufen 2,3,4 miteinander verbindenden Verbindungsleitungen 8,9,11 in Richtung der Pleuelschwinge ebene kann der Übergangsbereich im Kurvenverlauf von Ansaugdruck und Saugvermögen beeinflusst werden.

Bei den in den Figuren 2,5d und 8 gezeigten Pumpenausführungen soll stattdessen das Saugvermögen verbessert werden. Dazu ist in wenigstens einer Pumpstufe 1,2,3,4 die druckseitige Öffnung 10 der zumindest einen Verbindungsleitung 8,9,11 in dem Bereich des Pumpraumes 1,2,3,4 angeordnet oder diesem Bereich angenähert, an der die diesem Pumpraum 1,2,3,4 zugeordneten Membrane während eines Pumpzyklusses zuerst abwälzt. Die druckseitige Öffnung 13 ist also aus der Pumpenlängsmittellebene heraus vorzugsweise etwa um  $45^\circ$  in Richtung zu dem Bereich des Pumpraumes versetzt und somit in der Hemisphäre des Pumpraumes angeordnet, in dem die diesen Pumpraum zugeordnete Membrane während eines Pumpzyklusses zuerst abwälzt.

In Fig.4 ist auch der Kurvenverlauf von Ansaugdruck und Saugvermögen bei den in den Figuren 1,5c,7,9 und 10 gezeigten Pumpenausführungen einerseits und bei den in den Figuren 2,5d und 8 dargestellten Pumpenausführungen andererseits abgebildet. Während sich der mit „-45°/+45°“ gekennzeichnete Kurvenverlauf der in den Figuren 1,5c,7,9 und 10 gezeigten Pumpenausführungen durch einen verbesserten, nämlich zusätzlich reduzierten Ansaugdruck auszeichnet, weist der mit „+45°/-45°“ markierte Kurvenverlauf der in den Figuren 2,5d und 8 gezeigten Pumpenausführungen ein verbessertes Saugvermögen auf.

Wie aus einem Vergleich der Figuren 1,2,3,5c,5d,7,8,9 und 10 deutlich wird, sind die druck- bzw. die saugseitigen Öffnungen 12,13 der zumindest einen Verbindungsleitung 8,9,11 und das im Fluideinlass 6 vorgesehene Saugventil etwa auf einer quer zur Pleuelschwinge ebene verlaufenden Linie angeordnet.

Die hier dargestellten Membran-Saugpumpen 10,100 können als Vakuum-Pumpen häufig auch zum Abpumpen feuchter Dämpfe eingesetzt werden. Bei ungünstigen Druck- und Temperaturverhältnissen kann es jedoch dabei zu einer Kondensatbildung in der letzten und in den vorangegangenen Stufen 2,3,4 kommen. Im parallelen Betrieb der Membran-Saugpumpen 10,100 ist der maximale Enddruck regelmäßig höher als der Verdampfungsdruck des Kondensats. Das Kondensat hat deshalb noch keinen Einfluss auf den Evakuierungsvorgang. Im Serienbetrieb solcher Membran-Saugpumpen unterschreitet der Enddruck der Pumpe allerdings oft den Verdampfungspunkt des Kondensats, so dass aufgrund der Rückexpansion des Kondensats der Enddruck nicht erreicht werden kann.

Bei den in den Figuren 6 bis 10 gezeigten Pumpenausführungen ist zumindest eine Verbindungsleitung 8,9,10 insbesondere

zwischen nachfolgenden Pumpräumen 2,3,4 mit einem fallenden Leitungsverlauf ausgestaltet, wozu der zuströmseitige Leitungsabschnitt im Vergleich zum abströmseitigen Leitungsabschnitt der Verbindungsleitungen 8,9,11 höher angeordnet ist.

5 Mit dieser fallenden Anordnung der zumindest einen, insbesondere zwischen nachfolgenden Pumpräumen 2,3,4 vorgesehenen Verbindungsleitung 8,9,11 wird ein Ausblasen des in den nachfolgenden Pumpräumen eventuell auftretenden Kondensats erleichtert und die Pumpencharakteristik der hier dargestellten

10 Membran-Saugpumpen im Hinblick auf ihr Saugvermögen noch zusätzlich begünstigt. Dabei tritt das Kondensat regelmäßig in der Nähe des Atmosphärendruckes und somit meist in den letzten drei Stufen der in Serie geschalteten Pumpräume der mehrstufigen Membran-Saugpumpen auf. Die hier dargestellten

15 Membran-Saugpumpen zeichnen sich durch einen kontinuierlichen Evakuierungsprozess aus, obwohl ständig etwaiges Kondensat durch das Arbeitsgas selbst ausgeblasen wird. Wie aus einem Vergleich der Figuren 9 und 10 deutlich wird, müssen die in den auf beiden Seiten des Pumpgehäuses angebrachten Köpfen

20 befindlichen saugseitigen Öffnungen 12 der Verbindungsleitungen 8, 9, 11 in Richtung der Pleuelschwinge ebene und auf der Seite des Kopfes, bei der das Pleuel bei Aufwärtshub durch die Kippbewegung in Drehrichtung ausgelenkt wird, angeordnet sein, wenn man eine Optimierung der Saugkurve hinsichtlich des

25 Ansaugdruckes durch eine Veränderung der Umschaltdrücke mittels einer versetzten Anordnung der im Pumpraum 1,2,3,4 vorgesehenen Öffnungen der Verbindungsleitungen 8, 9, 11 anstrebt. Dadurch kommt in der zweiten Pumpstufe 2 die saugseitige Öffnung 12 über der Achse zu liegen, während die druckseitige Öffnung in

30 der dritten Pumpstufe 3 unter die Achse gelegt werden kann, so dass bei liegender Lage einer solchen Boxerpumpe eine fallende Verbindungsleitung geschaffen wird.

Wird die oben beschriebene Boxerpumpe demgegenüber - wie in den Figuren 6 bis 8 gezeigt - in stehender Lage betrieben, ist die Verbindungsleitung 8 zwischen der zweiten und der dritten Pumpstufe 2,3 horizontal angeordnet, während die Verbindungs-  
5 leitung 9 zwischen der dritten und der vierten Pumpstufe 3,4 fallend angeordnet ist. Dabei wird eine Ausführungsform bevorzugt, bei der die saugseitige Öffnung 12 der in der zweiten Pumpstufe 2 vorgesehenen Verbindungsleitung oberhalb der Kurbelachse und/oder die druckseitige Öffnung der in der  
10 dritten Pumpstufe 3 vorgesehene Verbindungsleitung unterhalb der Kurbelachse (Fig. 7b,8b) angeordnet ist.

In Figur 11 ist schematisch veranschaulicht, dass der Querschnitt  $d$  der Verbindungsleitungen 8, 9, 11 zwischen den vergleichsweise klein ausgestalteten Rückschlagventilen so ausgelegt werden sollte, dass die darin auftretende Gasgeschwindigkeit zum Ausblasen des Kondensats ausreicht. Die Verbindungsleitungen der hier dargestellten Pumpenausführungen weisen daher einen Leitungsdurchmesser  $d$  auf, der gleich oder kleiner  
15 der Hälfte des lichten Leitungsquerschnitts  $D$  der zu den Druck- oder Saugventilen führenden Druck- oder Saugleitungen ist. Damit wird bei fallender oder horizontaler Anordnung der Verbindungsleitungen 8, 9, 11 die niedrigste wirksame Gasgeschwindigkeit erreicht.

25

Ansprüche

**Ansprüche**

1. Mehrstufige Membran-Saugpumpe (10) mit mindestens zwei Pumpräumen (1,2,3,4), die jeweils einen, wenigstens ein  
5 Einlassventil aufweisenden Fluideinlass (6) und einen, zumindest ein Auslassventil aufweisenden Fluidauslass (7) haben, sowie mit einer die Fluideinlässe (6) der Pumpräume (1,2,3,4) verbindenden Saugleitung, wobei einander nachfolgende Pumpräume (1,2,3,4) jeweils über mindestens eine  
10 Verbindungsleitung (8,9,11) derart miteinander verbunden sind, dass die Membranpumpe (10) bei Erreichen/Überschreiten eines Differenzdruckes in der Saugleitung von einem parallel arbeitenden Betrieb ihrer Pumpräume (1,2,3,4) in einen zumindest auch seriell arbeitenden  
15 Betrieb dieser Pumpräume übergeht, und wobei im Einström- und im Ausströmbereich der mindestens einen Verbindungsleitung (8,9,11) jeweils wenigstens ein zur nachfolgenden Pumpstufe öffnendes Rückschlagventil zwischengeschaltet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens in einem  
20 Pumpraum (1,2,3,4) entweder zur Verbesserung des Ansaugdruckes die saugseitige Öffnung (12) der zumindest einen Verbindungsleitung (8,9,11) oder zur Verbesserung des Saugvermögens die druckseitige Öffnung (13) der zumindest einen Verbindungsleitung (8,9,11) in dem Bereich (B,C) des  
25 Pumpraumes (1,2,3,4) angeordnet oder diesem Bereich (B,C) angenähert ist, an dem die diesem Pumpraum zugeordnete Membrane während eines Pumpzyklus zuerst abwälzt.
2. Membran-Saugpumpe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
30 dass jedem Pumpraum (1,2,3,4) der Membran-Pumpe (10) ein in einer Pleuelschwinge ebene verschwenkbarer Pleuel zugeordnet ist und dass zumindest in einem Pumpraum (1,2,3,4) die saugseitige oder die druckseitige Öffnung

(12,13) zumindest einer Verbindungsleitung (8,9,11) in der Pleuelschwinge Ebene vorgesehen ist.

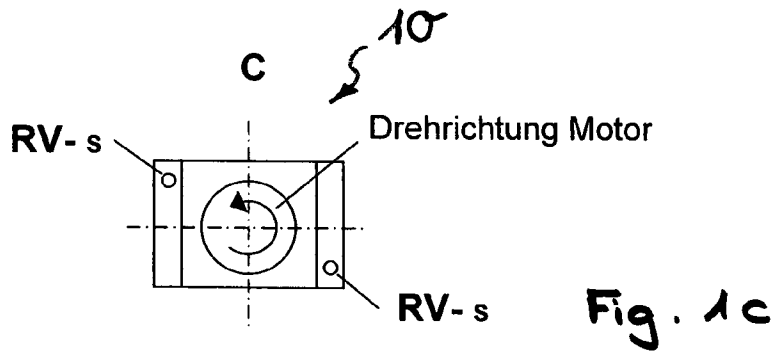
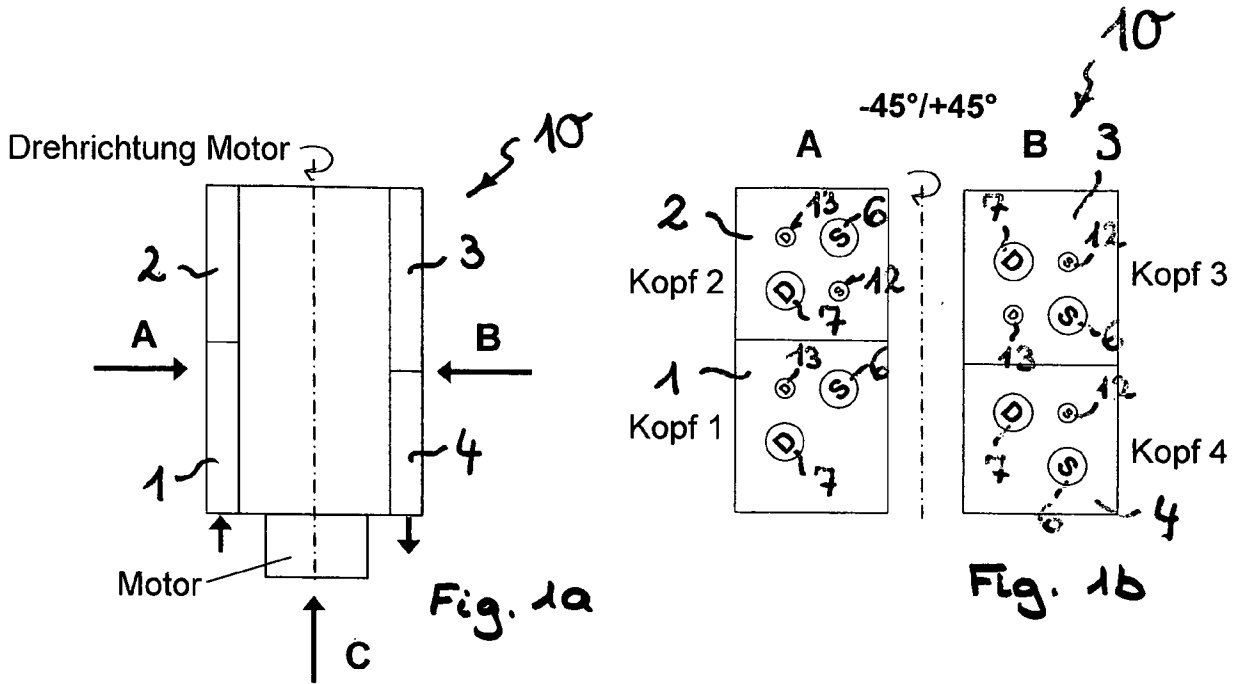
3. Membran-Saugpumpe nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die saugseitige oder die druckseitige Öffnung (12,13) der zumindest einen Verbindungsleitung (8,9,11) in dem an die Einspannzone der Membrane angrenzenden Randbereich des Pumpraumes (1,2,3,4) angeordnet ist.  
5
4. Membran-Saugpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest in einem Pumpraum (1,2,3,4) die saugseitige oder die druckseitige Öffnung (12,13) der zumindest einen Verbindungsleitung (8,9,11) und das Saugventil etwa auf einer quer zur Pleuelschwinge Ebene verlaufenden Linie angeordnet sind.  
10
5. Membran-Saugpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens im Pumpraum (2) der in Förderrichtung zweiten Pumpstufe zur Verbesserung des Ansaugdruckes die saugseitige Öffnung (12) der zumindest einen Verbindungsleitung in dem Bereich des Pumpraumes (2) angeordnet oder diesem Bereich angenähert ist, an dem die diesem Pumpraum zugeordnete Membrane während eines Pumpzyklus zuerst abwältzt.  
15  
20
6. Membran-Saugpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens im Pumpraum (1) der in Förderrichtung ersten Pumpstufe zur Verbesserung des Saugvermögens die druckseitige Öffnung (13) der zumindest einen Verbindungsleitung im Bereich des Pumpraumes (1) angeordnet oder diesem Bereich angenähert ist, an dem die diesem Pumpraum zugeordnete Membrane während eines Pump-  
25  
30

zyklus zuerst abwälzt.

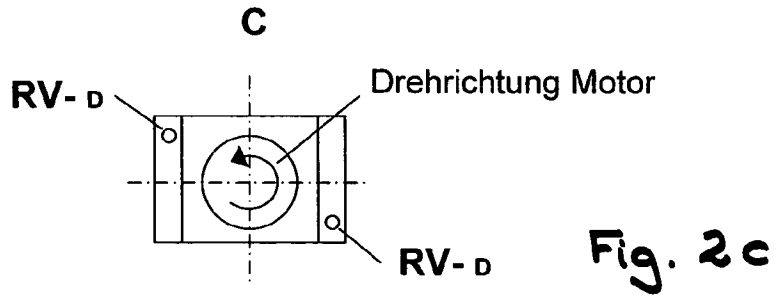
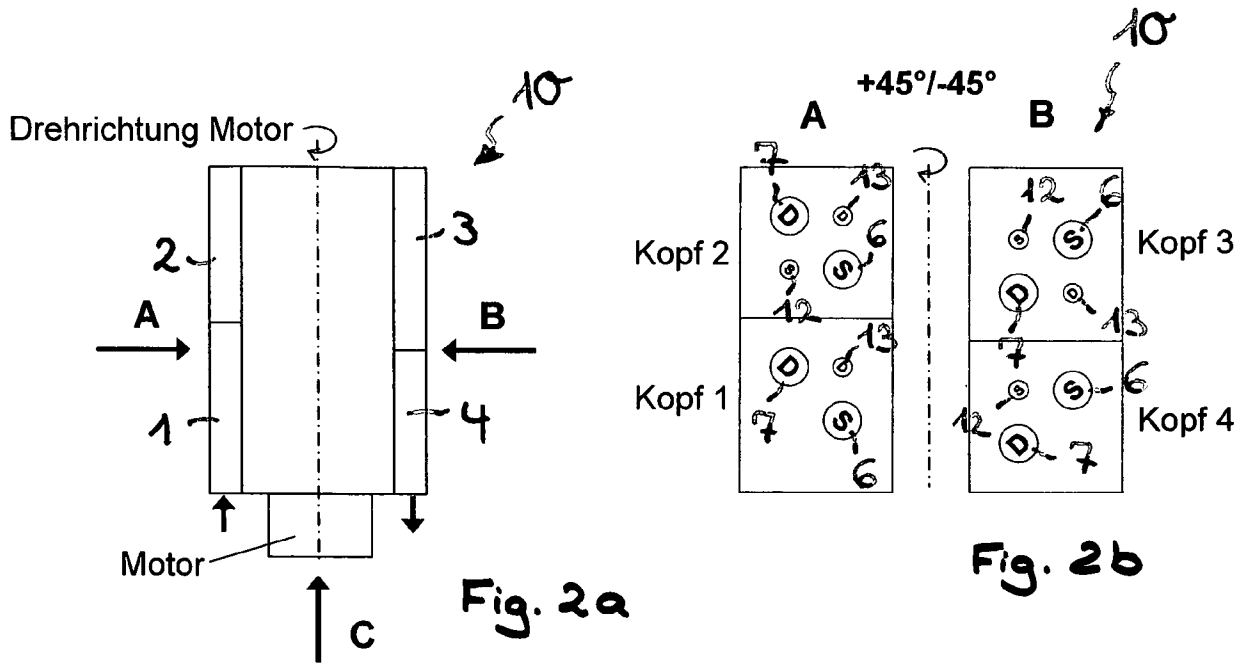
7. Membran-Saugpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine Verbindungs-  
5 leitung (8,9,11) insbesondere zwischen nachfolgenden Pump-  
räumen (1,2,3,4) einen fallenden Leitungsverlauf hat und  
dass dazu der zuströmseitige Leitungsabschnitt im Ver-  
gleich zum abströmseitigen Leitungsabschnitt dieser zumin-  
dest einen Verbindungsleitung (8,9,11) höher angeordnet  
10 ist.
8. Membran-Saugpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 7, da-  
durch gekennzeichnet, dass die Pumpstufen (1,2,3,4) der  
mehrstufigen Membran-Pumpe (10,100) paarweise in einer  
15 Boxerform angeordnet sind.
9. Membran-Saugpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 8, da-  
durch gekennzeichnet, dass die saugseitige Öffnung (12)  
der in der zweiten Pumpstufe (2) vorgesehenen Verbin-  
20 dungsleitung (9) oberhalb der Kurbelachse und/oder die  
druckseitige Öffnung (13) der in der dritten Pumpstufe (3)  
vorgesehenen Verbindungsleitung unterhalb der Kurbelachse  
angeordnet ist.
- 25 10. Membran-Saugpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 9, da-  
durch gekennzeichnet, dass die Verbindungsleitungen  
(8,9,11) einen Leitungsdurchmesser haben, der gleich oder  
kleiner der Hälfte des lichten Leitungsquerschnitts der zu  
den Druck- oder Saugventilen führenden Druck- oder  
30 Saugleitungen ist.
11. Membran-Saugpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 10, da-  
durch gekennzeichnet, dass die Membran-Saugpumpe (10,100)

vier Pumpräume (1,2,3,4) hat.

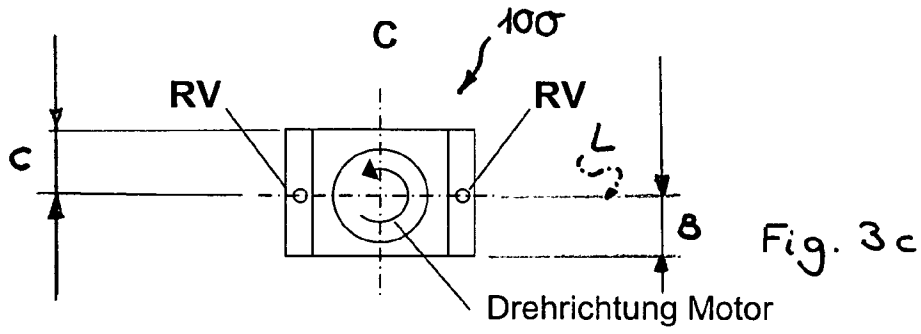
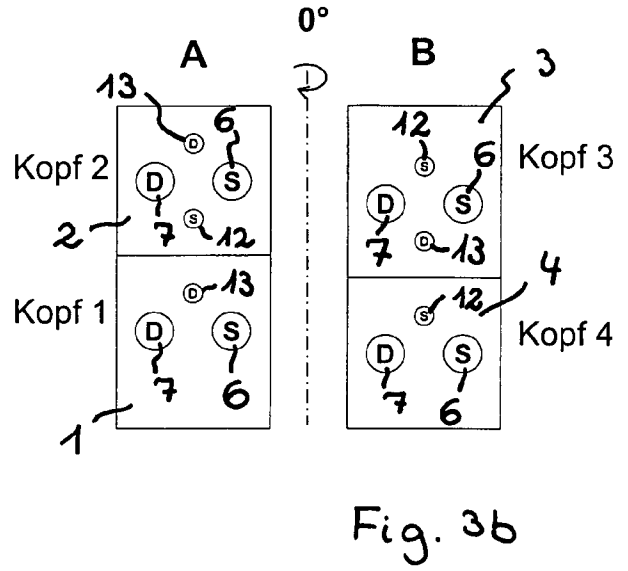
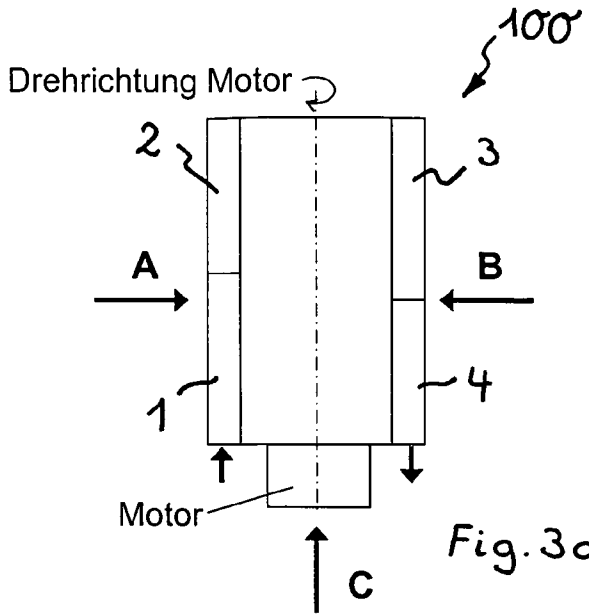
12. Membran-Saugpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 11,  
dadurch gekennzeichnet, dass im ersten und im letzten  
5 Pumpraum (1,4) der einander nachfolgenden Pumpräume  
(1,2,3,4) zumindest eine saug- oder druckseitige Öffnung  
einer Verbindungsleitung und in den dazwischen angeord-  
neten Pumpräumen (2,3) wenigstens eine saug- und  
mindestens eine druckseitige Öffnung der Verbindungs-  
10 leitungen vorgesehen sind.



„niedriger Ansaugdruck“



„hohes Saugvermögen“



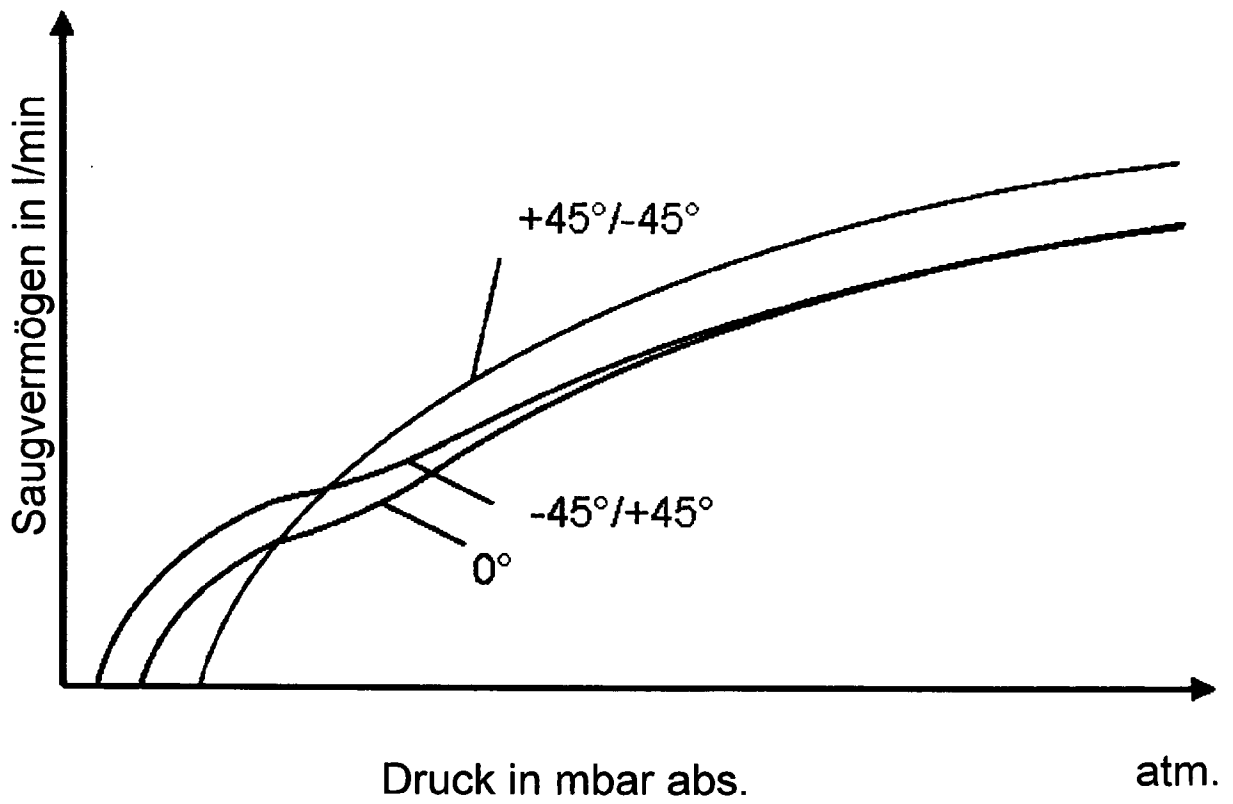


Fig. 4

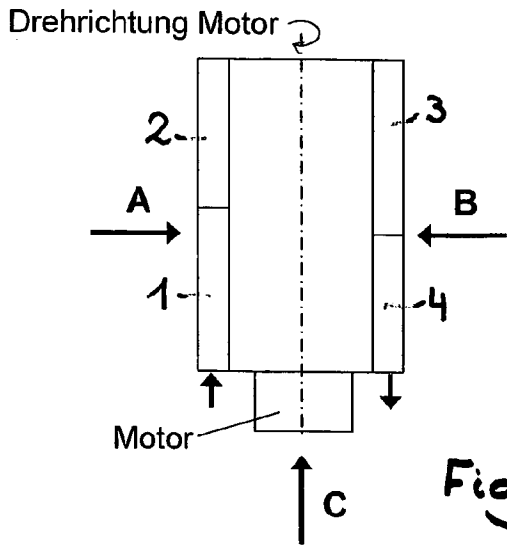


Fig. 5a

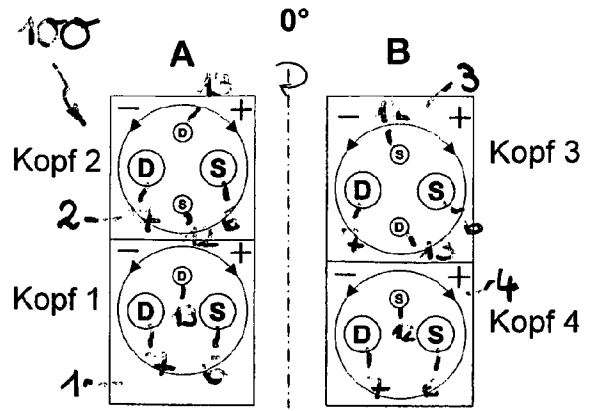
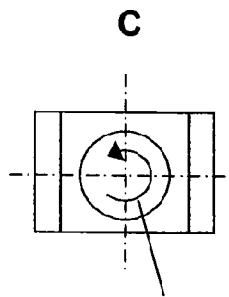


Fig. 5b



Drehrichtung Motor ↻

Fig. 5c

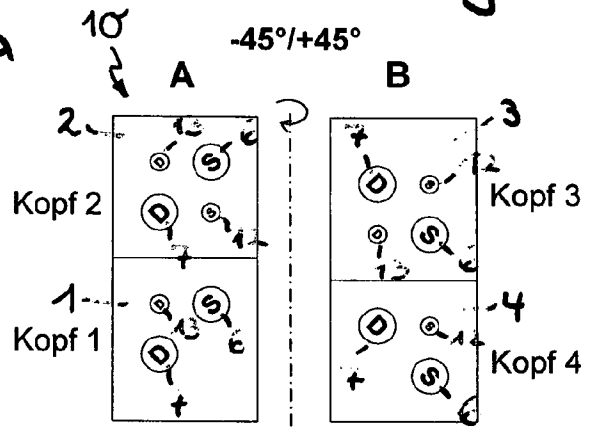


Fig. 5d

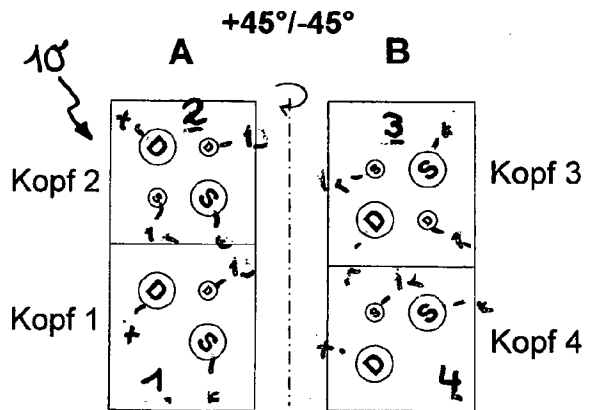
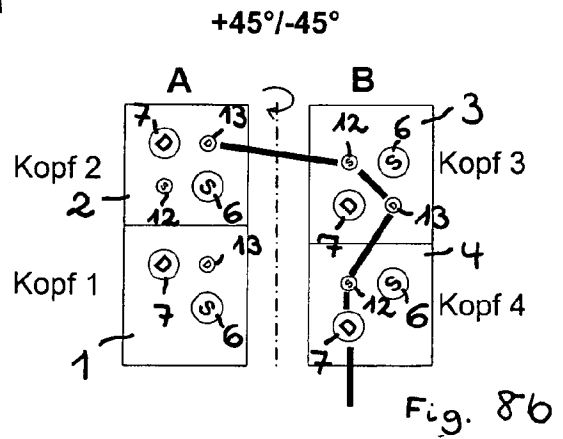
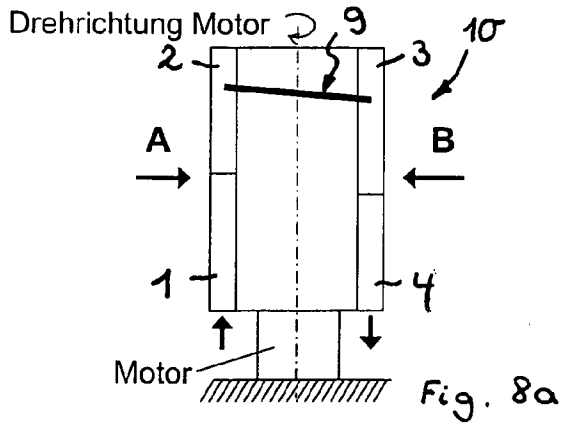
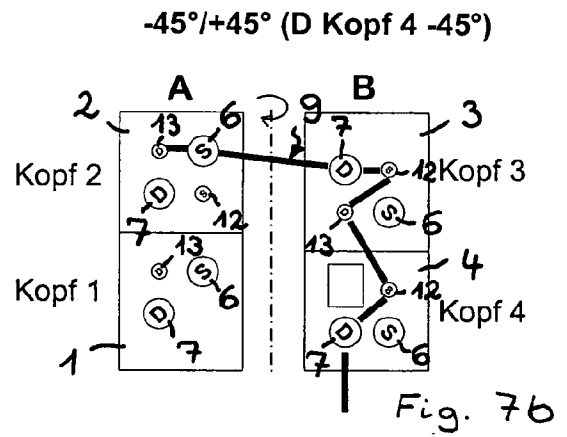
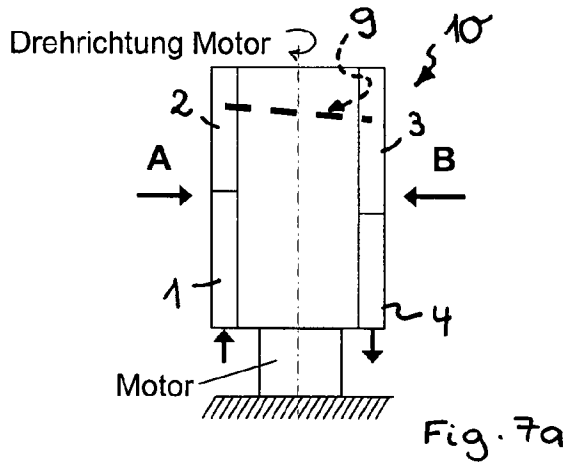
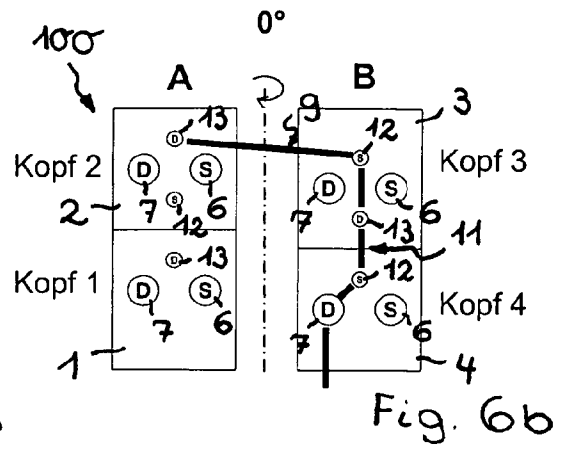
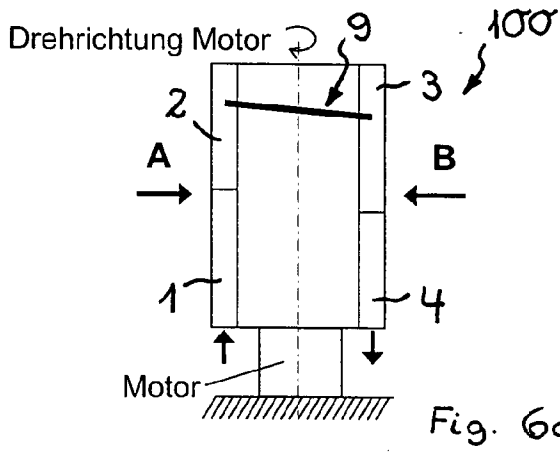


Fig. 5e



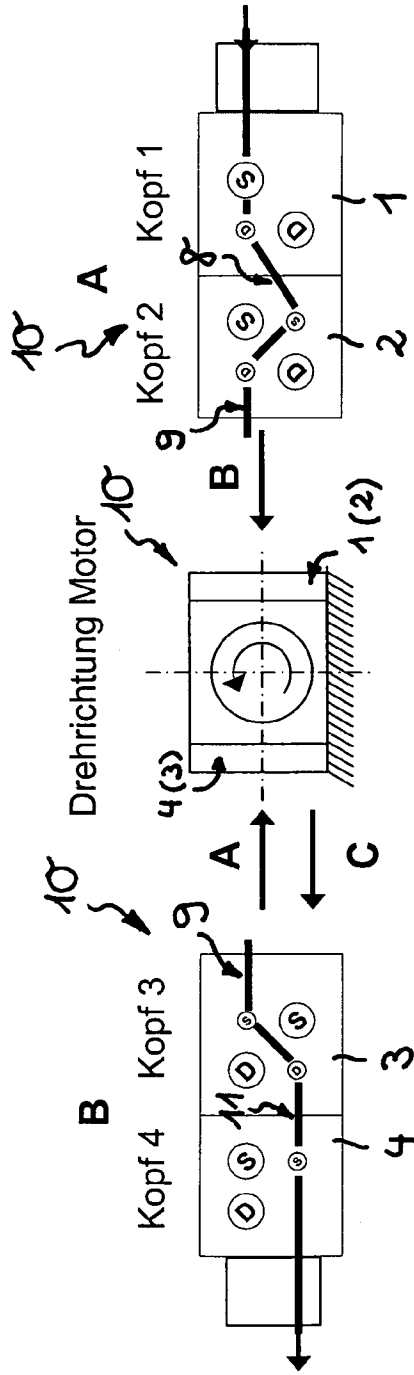


Fig. 9a

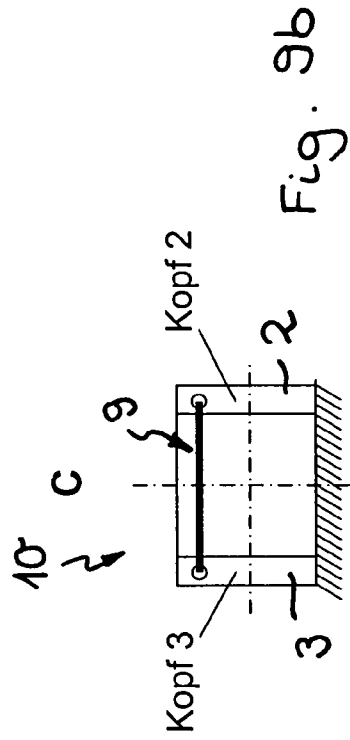


Fig. 9b

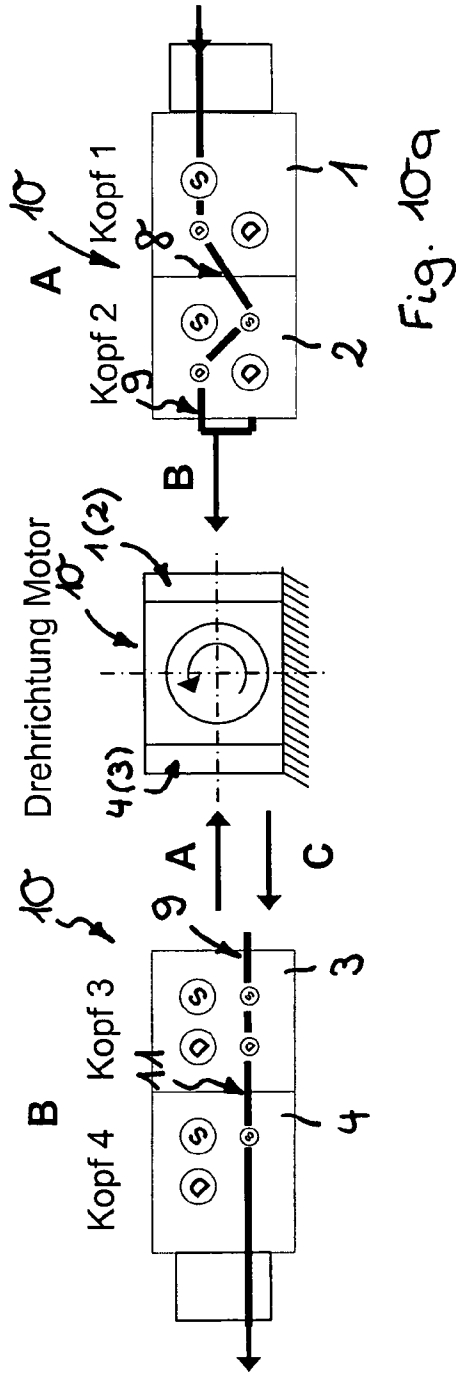


Fig. 10a

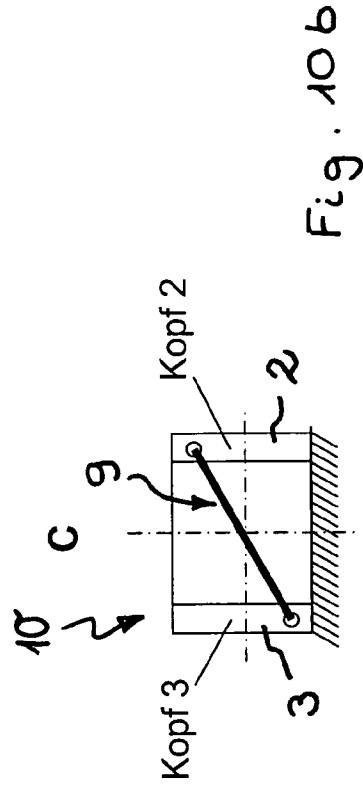


Fig. 10b

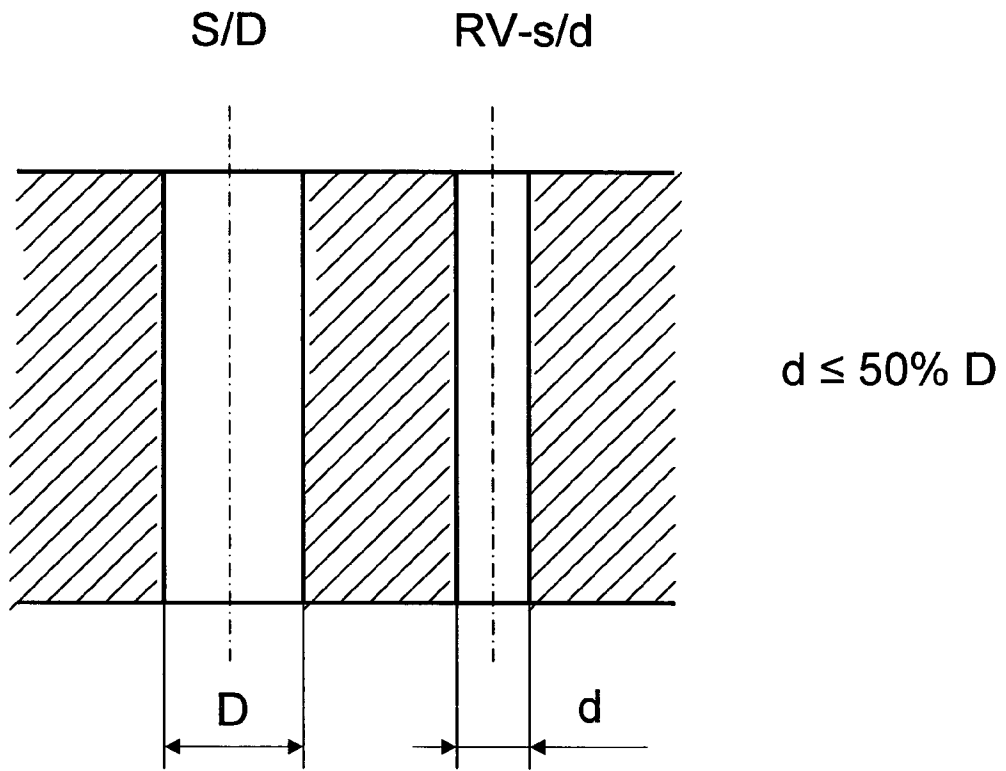


Fig. 11