



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
16.11.2011 Patentblatt 2011/46

(51) Int Cl.:
F04D 29/66 (2006.01) **F04D 31/00** (2006.01)
F04D 29/057 (2006.01) **F04D 29/047** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11161758.5**

(22) Anmeldetag: **08.04.2011**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(72) Erfinder:
• **Meuter, Paul**
8472, Seuzach (CH)
• **Welschinger, Thomas**
78315, Radolfzell (DE)

(30) Priorität: **11.05.2010 EP 10162520**

(74) Vertreter: **Sulzer Management AG**
Patentabteilung / 0067
Zürcherstrasse 14
8401 Winterthur (CH)

(71) Anmelder: **Sulzer Pumpen AG**
8401 Winterthur (CH)

(54) **Helico-axiale Pumpe, Rotor für eine helico-axiale Pumpe sowie Verfahren zur Lagerung eines Rotors in einer helico-axialen Pumpe**

(57) Die Erfindung betrifft eine helico-axiale Pumpe (1) zur Förderung eines Mehrphasengemischs (M), welche helico-axiale Pumpe (1) einen in einem Pumpengehäuse (6) um eine Längsachse (A) drehbar gelagerten Rotor (2) mit einem ersten Teilrotor (21) und einen zweiten Teilrotor (22) umfasst, wobei der erste Teilrotor (21) und der zweite Teilrotor (22) zur Kompression des Mehrphasengemischs (M) eine Kompressionsstufe (K, K1 E, K1 A, K2E, K2A) mit einem helico-axialen Laufrad (3) und einem Stator (4) umfasst. Erfindungsgemäss ist eine hydrodynamische Stabilisierungsbuchse (70) mit einer

Stabilisierungsfläche (700) derart zwischen dem ersten Teilrotor (21) und dem zweiten Teilrotor (22) vorgesehen und ausgestaltet, dass vor der Stabilisierungsfläche (700) ein Stabilisierungsspalt (8) ausgebildet ist, so dass im Betriebszustand eine hydrodynamische Stabilisierungsschicht (S) aus einem Stabilisierungsmedium im Stabilisierungsspalt (8) bildbar ist. Die Erfindung betrifft weiterhin einen Rotor (2) für eine helico-axiale Pumpe (1), eine Hybridpumpe mit einem Rotor (2) für eine helico-axiale Pumpe 1, sowie ein Verfahren zur hydrodynamischen Lagerung eines Rotors (2) einer helico-axialen Pumpe (1).

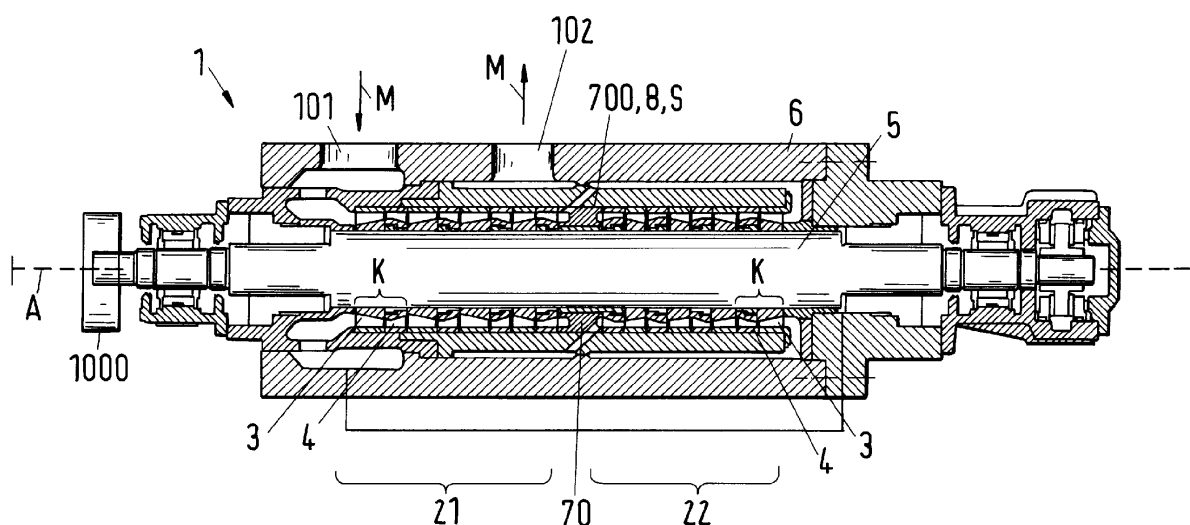


Fig.2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine helico-axiale Pumpe zur Förderung von Mehrphasengemischen, einen Rotor für eine helico-axiale Pumpe, eine Hybridpumpe mit einer helico-axialen Pumpe sowie ein Verfahren zur Lagerung eines Rotors in einer helico-axialen Pumpe gemäss dem Oberbegriff der unabhängigen Ansprüche 1, 10, 13 und 14.

[0002] Bei der Förderung von Mehrphasengemischen, wie beispielsweise Rohöl, das neben Erdöl auch Erdgas und häufig auch Wasser und Feststoffanteile wie z.B. Sand enthält, stellt sich das Problem, dass mit steigendem Gasanteil im Mehrphasengemisch der Wirkungsgrad der verwendeten Pumpvorrichtungen abnimmt. Beispielsweise ist bei niedrigen Gasdichten der Einsatz von Pumpvorrichtungen mit radialen Laufrädern bereits ab einem volumetrischen Gas/Flüssigkeitsverhältnis von grösser als 0.04 bis 0.06 nicht mehr möglich bzw. nicht mehr wirtschaftlich. In herkömmlichen Förderanlagen wird deshalb bei einem höheren Gasanteil die gasförmige Phase der Mehrphasengemische von der flüssigen zunächst abgetrennt und die beiden Phasen dann getrennt unter jeweils unterschiedlichen Förderbedingungen gefördert. Eine derartige Trennung der flüssigen und gasförmigen Phase der Mehrphasengemische ist abhängig von den speziellen Einsatzbedingungen am Ort der Förderung und nicht immer möglich oder wirtschaftlich. Es wurden deshalb spezielle Pump- oder Kompressionsvorrichtungen entwickelt, um das volumetrische Gas/Flüssigkeitsverhältnis der zu fördernden Mehrphasengemische soweit zu verringern, dass anschliessend eine herkömmliche Pumpvorrichtung für die weitere Förderung eingesetzt werden kann, beispielsweise eine Verdrängerpumpe, eine Rotationspumpe oder eine Strahlpumpe.

[0003] Derartige Pump- oder Kompressionsvorrichtung für Mehrphasengemische mit erhöhtem Gasanteil sind beispielsweise bereits aus der GB-A-1 561 454, der EP 0 486 877 oder der US 5,961,282 bekannt.

[0004] Beispielsweise ist die Hybridpumpe gemäss US 5,961,282 ein System zur Kompression eines Multiphasengemischs, das neben einer flüssigen Phase insbesondere einen erheblichen Gasanteil umfassen kann. Die Pumpe umfasst dabei eine mehrstufige Axialfluspumpe zur Reduktion des relativen Gasanteils, d.h. die Axialfluspumpe dient zur Erhöhung der Dichte des Mehrphasengemischs, so dass es schliesslich durch eine weitere gewöhnliche Zentrifugalpumpe von einem niedrigeren Niveau auf ein höheres Niveau gepumpt werden kann, zum Beispiel vom Boden des Meeres auf eine Ölplattform, ein Schiff oder zu einer landgestützten Anlage.

[0005] Wie bereits erwähnt, umfasst die als Verdichter wirkende helico-axiale Pumpe einen Rotor mit mehreren Kompressionsstufen, in der Praxis zum Beispiel mit bis zu sechzehn oder mehr Stufen, so dass das Mehrphasengemisch schrittweise von einer relativ niedrigen Dichte

mit einem hohen relativen Volumenanteil an Gas bis zu einem hoch verdichteten Mehrphasengemisch mit einer so hohen Dichte komprimierbar ist, dass das hoch komprimierte Gemisch mit einer gewöhnlichen Förderpumpe weitergefordert werden kann.

[0006] Eine an sich bekannte Kompressionsstufe K' eines Rotors 2' einer helico-axialen Pumpe 1' ist schematisch in Fig. 1a und Fig. 1b dargestellt, wobei zur Verdeutlichung in Fig. 1b ein Abschnitt I-I eines Schnitts gemäss Fig. 1a parallel zur Längsachse A' dargestellt ist.

[0007] Jede Kompressionsstufe K' umfasst dabei ein rotierendes Laufrad 3' mit Schraube 31', wobei das rotierende Laufrad 3' einer kurzen archimedischen Schraube ähnelt, und einen daran anschliessenden Stator 4', der aus einer Mehrzahl von statischen, also nicht rotierenden Schaufeln 41' besteht. Laufrad 3' und Stator 4' sind dabei derart in Bezug auf eine gemeinsame Pumpenwelle 5', montiert, dass das Laufrad 3' im Betriebszustand von der Pumpenwelle 5' in Rotation versetzt wird, während der Stator 4' von der Drehbewegung der Pumpenwelle 5' entkoppelt ist und daher in Bezug auf das Laufrad 3' nicht rotiert. Die Pumpenwelle 5' erstreckt sich dabei entlang einer Längsachse A'. Die Mehrzahl der Kompressionsstufen K' sind dabei in einem im wesentlichen rohrartigen Pumpengehäuse 6' in Serie hintereinander angeordnet.

[0008] Die rotierende Schraube 31' fördert das Mehrphasengemisch M' in Pfeilrichtung z.B. aus einer in Fig. 1a und Fig. 1b nicht gezeigten vorgängigen Kompressionsstufe K' in den Stator 4', wodurch im Stator 4' kinetische Energie in Druckenergie umgewandelt wird, was zur Kompression des Mehrphasengemischs M' führt.

[0009] Um eine ausreichend hohe Kompression des Mehrphasengemischs M' zu erhalten, müssen in der Praxis, wie bereits erwähnt, eine grössere Anzahl von zum Beispiel bis zu sechzehn oder noch mehr Kompressionsstufen K', jeweils bestehend aus einem Laufrad 3' und einem Stator 4' in Serie vorgesehen werden, was zwangsläufig zu einer beträchtlichen Baulänge der helico-axialen Pumpe 1' führt.

[0010] Der entscheidende Nachteil solch langer Rotoren 2' gebildet aus einer Vielzahl von Kompressionsstufen K' ist daher, dass sie schwingungsmässig nur sehr schwer zu beherrschen sind. Diese langen Rotoren 2' bilden im Inneren des rohrförmigen Pumpengehäuses 6' nämlich ein schwingungsfähiges System, das insbesondere verschiedene transversale Schwingungsmoden ausbilden kann, die so intensiv sein können, dass die Pumpe bei einer vorgegebenen Umdrehungszahl bzw. in einem bestimmten Umdrehungsfeld nicht mehr betrieben werden kann. Darüber hinaus kann auch der Wirkungsgrad der Pumpen 1' reduziert sein und im schlimmsten Fall sogar Beschädigungen der Pumpe 1' zu befürchten sind, wenn der Rotor 2' zum Beispiel so stark und unkontrolliert zu schwingen beginnt, dass Teile des Rotors 2', wie etwa die Laufräder 3' durch die Schwingungsbewegung beispielsweise mit dem Pumpengehäuse in Kontakt kommen. Dabei hängt die Art und In-

tensität der Schwingungen des Rotors 2' nicht nur von der speziellen Geometrie sondern auch vom Betriebszustand der Pumpe 1', des zu pumpenden Mehrphasengemischs M', der Drehzahl der Pumpe 1' und weiteren bekannten und zum Teil nicht genau bekannten Parametern ab, so dass es kaum möglich ist, allein durch eine Anpassung der geometrischen Verhältnisse bekannter Pumpen 1' oder durch Verwendung neuer Materialien die Probleme mit den schädlichen Schwingungen des Rotors 2' in den Griff zu bekommen.

[0011] Dabei besteht der deutliche Wunsch nach Pumpen mit einer immer höheren Anzahl von Kompressionsstufen, damit Mehrphasengemische mit immer höherem Gasanteil immer besser, das heisst zu immer höheren Drücken komprimiert werden können, so dass das so komprimierte Mehrphasengemisch zuverlässiger und über immer noch grössere Druck- bzw. Höhendifferenzen weiter gepumpt werden kann.

[0012] Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine helico-axiale Pumpe zur Förderung von Mehrphasengemischen vorzuschlagen, bei welcher die schädlichen Schwingungen des Rotors weitgehend vermieden werden und die Schwingungen des Rotors auf ein vorgebares Mass reduziert bzw. gedämpft sind, so dass einerseits ein verbesserter Lauf des Rotors im Betriebszustand erreicht werden kann und die Pumpe andererseits bei Drehzahlen bzw. in einem Umdrehungsfeld betrieben werden kann, in dem die aus dem Stand der Technik bekannten Helico-axialen Pumpen aufgrund der oben beschriebenen schädlichen Schwingungen des Rotors nicht betrieben werden können. Daneben soll die neue Pumpe alternativ oder gleichzeitig mit mehr Kompressionsstufen ausgestattet werden können, als das bei den bisher im Stand der Technik bekannten Pumpen möglich ist, bei welchen die Länge der Pumpe und damit die maximale Zahl der Kompressionsstufen durch die Schwingungen des Rotors im Betriebszustand begrenzt ist.

[0013] Die diese Aufgabe lösenden Gegenstände der Erfindung sind durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche der jeweiligen Kategorie gekennzeichnet.

[0014] Die abhängigen Ansprüche beziehen sich auf besonders vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung.

[0015] Die Erfindung betrifft somit eine helico-axiale Pumpe zur Förderung eines Mehrphasengemischs, welche helico-axiale Pumpe einen in einem Pumpengehäuse um eine Längsachse drehbar gelagerten Rotor mit einem ersten Teilrotor und einen zweiten Teilrotor umfasst, wobei der erste Teilrotor und der zweite Teilrotor zur Kompression des Mehrphasengemischs eine Kompressionsstufe mit einem helico-axialen Laufrad und einem Stator umfasst. Erfindungsgemäss ist eine hydrodynamische Stabilisierungsbuchse mit einer Stabilisierungsfläche derart zwischen dem ersten Teilrotor und dem zweiten Teilrotor vorgesehen und ausgestaltet, dass vor der Stabilisierungsfläche ein Stabilisierungsspalt ausgebildet ist, so dass im Betriebszustand eine hydrodynamische Stabilisierungsschicht aus einem Sta-

bilisierungsmedium im Stabilisierungsspalt bildbar ist.

[0016] Wesentlich für die Erfindung ist es somit, dass ein hydrodynamische Stabilisierungsbuchse mit einer Stabilisierungsfläche im Pumpengehäuse vorgesehen ist, so dass vor der Stabilisierungsfläche ein Stabilisierungsspalt ausgebildet ist, in welchem Stabilisierungsspalt im Betriebszustand der Pumpe eine hydrodynamische Stabilisierungsschicht gebildet wird.

[0017] Durch die vorliegende Erfindung wird somit die Rotordynamik entscheidend verbessert, weil durch die Stabilisierungsschicht die Dämpfung und Steifigkeit des schwingungsfähigen Rotorsystems entscheidend erhöht wird.

[0018] Die schädlichen Schwingungen des Rotors werden durch die Ausbildung der Stabilisierungsschicht im Stabilisierungsspalt vor der Stabilisierungsfläche der Stabilisierungsbuchse weitgehend vermieden und werden zumindest auf ein vorgebares tolerierbares Mass reduziert bzw. gedämpft, so dass die Pumpe auch bei einer Umdrehungszahl bzw. in einem bestimmten Umdrehungsfeld betrieben werden kann, wo das ohne Verwendung der erfindungsgemässen Stabilisierungsschicht bisher nicht mehr möglich ist. Darüber hinaus kann eventuell sogar ein höherer Wirkungsgrad der Pumpe und ein ruhigerer verbesserter Lauf des Rotors im Betriebszustand erreicht werden. Was letztlich natürlich dazu führt, dass nicht nur Energie für den Betrieb der Pumpe eingespart werden kann, sondern auch die Wartungsintervalle verlängert werden können, wodurch die damit verbundenen Kosten drastisch gesenkt werden können und gleichzeitig auch die Lebensdauer der Pumpe wesentlich erhöht wird.

[0019] Ein weiterer besonderer Vorteil besteht darin, dass es durch die Erfindung erstmals möglich ist, Pumpen mit einer viel höheren Anzahl von Kompressionsstufen zu konstruieren, als das bisher möglich war. Bisher war die mögliche Anzahl der Kompressionsstufen allein schon durch die mit steigender Zahl der Kompressionsstufen massiv ansteigenden Schwingungen des Rotors eingeschränkt. Durch die Erfindung ist der Rotor praktisch auf einer beliebigen Länge sicher stabilisierbar.

[0020] Dabei bildet sich bei einer erfindungsgemässen helico-axialen Pumpe die Stabilisierungsschicht im Stabilisierungsspalt vor der Stabilisierungsfläche der hydrodynamischen Stabilisierungsbuchse quasi automatisch aus, so dass in einem einfachen Ausführungsbeispiel, das jedoch in der Praxis von besonderer Bedeutung ist, ausser einer geeigneten Einstellung der Grösse oder Form des Stabilisierungsspalt es bzw. der Stabilisierungsbuchse und / oder deren Stabilisierungsfläche keine weiteren baulichen Massnahmen vorgenommen werden müssen.

[0021] Ist die Geometrie des Stabilisierungsspalt bei einer erfindungsgemässen helico-axialen Pumpe entsprechend den Anforderungen eingestellt, bildet sich im Betriebszustand über dem Stabilisierungsspalt eine Druckdifferenz zwischen dem Mehrphasengemisch, das sich im ersten Teilrotor befindet und demjenigen, das

sich im zweiten Teilrotor befindet, derart aus, dass sich ein vorgebbare Fluss von Mehrphasengemisch vom zweiten Teilrotor über den Stabilisierungsspalt zurück zum ersten Teilrotor automatisch einstellt, wodurch sich automatisch eine Stabilisierungsschicht zur Stabilisierung bzw. Dämpfung der schädlichen Schwingungen des Rotor ausbildet.

[0022] Dabei ist der Grad, also die Stärke der Dämpfung je nach technischen Anforderungen oder Spezifikationen bei einer erfindungsgemässen helico-axialen Pumpe auf einfache Weise anpassbar. Dies kann zum Beispiel durch geeignete Wahl der Geometrie, beispielsweise der geometrische Form oder Breite des Stabilisierungsspalts geschehen.

[0023] Eine erfindungsgemässe helico-axiale Pumpe ist dabei besonders bevorzugt in Form einer sogenannten Back-to-Back Anordnung ausgestaltet. Unter einer Back-to-Back Anordnung versteht der Fachmann eine Anordnung von zwei Pumpenrotoren in Serie, die so eine Pumpe mit zwei Druckstufen ausbildet. Das zu pumpende Medium wird dabei über eine Saugöffnung der Pumpe der ersten Druckstufe zugeführt, wobei das Medium die erste Druckstufe in einer ersten axialen Richtung durchläuft, wobei dabei der Druck des zu pumpenden Mediums auf einen ersten Zwischendruck erhöht wird. Aus der ersten Druckstufe wird das Medium dann über ein Kanalsystem der zweiten Druckstufe derart zugeführt, dass das Medium die zweite Druckstufe in einer zweiten axialen Richtung durchläuft, die der ersten axialen Richtung der ersten Druckstufe entgegen gesetzt ist. In der zweiten Druckstufe wird das Medium dann auf den gewünschten Enddruck gebracht und über eine Drucköffnung zur weiteren Verwendung aus der Pumpe abgeführt.

[0024] Wesentlich für die Back-to-Back Anordnung der aus dem Stand der Technik bekannten Pumpen, die sämtlich keine helico-axialen Pumpen sind, ist dabei, dass die Flussrichtung des Medium in der ersten Druckstufe entgegengesetzt zur Flussrichtung in der zweiten Druckstufe ist. Bei den bekannten Pumpen dient die Back-to-Back Anordnung nämlich ausschliesslich dazu, die enormen Schubkräfte, die in axialer Richtung auf die Lager der Pumpenwelle wirken, zumindest teilweise zu kompensieren und damit die Lager zu entlasten. Die enormen axialen Schubkräfte sind dabei darauf zurückzuführen, dass in diesen aus dem Stand der Technik bekannten Pumpen sehr hohe Drücke mit sehr grossen Komponenten in axialer Richtung erzeugt werden. Schwingungen des Pumpenrotors spielen hier eine sehr untergeordnete Rolle, weil die Rotoren selbst in der Regel keine grosse axiale Ausdehnung haben und / oder nur aus je einer Kompressionsstufe bestehen und / oder zwischen der ersten Druckstufe und der zweiten Druckstufe ein zusätzliches mechanisches Lager, zum Beispiel ein Kugellager vorgesehen ist, das den Pumpenrotor in der Mitte zusätzlich mechanisch lagert.

[0025] Da bei helico-axialen Pumpen die axialen Druckkomponenten im Vergleich zu anderen konventionellen Pumpen eher klein sind, spielen hier die Schub-

kräfte, die in axialer Richtung auf die Lager der helico-axialen Pumpe wirken, keine entscheidende Rolle. Daher wurde eine Back-to-Back Anordnung für helico-axiale Pumpen bisher auch nie in Betracht gezogen, weil bei helico-axialen Pumpen der bekannte Vorteil der Back-to-Back Anordnung eigentlich nicht ausgenutzt werden kann.

[0026] Die wesentliche Erkenntnis der Erfindung ist es daher, dass die Back-to-Back Anordnung im Falle von helico-axialen Pumpen dann erfolgreich eingesetzt werden kann, wenn zwischen dem ersten Teilrotor und dem zweiten Teilrotor eine erfindungsgemässe Stabilisierungsbuchse vorgesehen wird, so dass sich aufgrund des Druckgefälles zwischen dem ersten Teilrotor und dem zweiten Teilrotor im Stabilisierungsspalt eine Stabilisierungsschicht aus dem Stabilisierungsmedium ausbilden kann, das besonders bevorzugt das zu pumpende Mehrphasengemisch selbst ist, so dass durch die Stabilisierungsschicht die Schwingungen des Rotors auf ein vorgebbares, unschädliches Mass gedämpft werden.

[0027] In einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel ist somit der erste Teilrotor und der zweite Teilrotor derart in einer Back-to-Back Anordnung im Pumpengehäuse vorgesehen, dass das Mehrphasengemisch über eine Saugöffnung einer ersten Eingangskompressionsstufe des ersten Teilrotors zuführbar ist und über eine erste Ausgangskompressionsstufe aus dem ersten Teilrotor in einen ersten Kreuzkanal wieder abführbar ist. Aus dem ersten Kreuzkanal ist das Mehrphasengemisch dann einer zweiten Eingangskompressionsstufe des zweiten Teilrotors zuführbar und über eine zweite Ausgangskompressionsstufe aus dem zweiten Teilrotor über einen zweiten Kreuzkanal und eine Drucköffnung aus der helico-axialen Pumpe wieder abführbar. Dabei sind die erste Ausgangskompressionsstufe und die zweite Ausgangskompressionsstufe jeweils benachbart zur Stabilisierungsbuchse angeordnet.

[0028] Wie in den Zeichnungen später noch genauer erläutert werden wird, ist die Stabilisierungsbuchse dabei derart ausgestaltet und am Rotor angeordnet, dass der Stabilisierungsspalt zwischen der Stabilisierungsbuchse und dem Pumpengehäuse ausgebildet ist. Gleichzeitig oder alternativ kann die Stabilisierungsbuchse jedoch derart ausgestaltet und am Rotor angeordnet sein, dass der Stabilisierungsspalt zwischen der Stabilisierungsbuchse und dem Rotor ausgebildet ist.

[0029] Bei einem für die Praxis ebenfalls wichtigen Ausführungsbeispiel ist zusätzlich ein hydrodynamisches Stabilisierungselement mit einer Stabilisierungsfläche derart vorgesehen und ausgestaltet, dass vor der Stabilisierungsfläche der Stabilisierungsspalt ausgebildet ist, so dass im Betriebszustand eine hydrodynamische Stabilisierungsschicht aus dem Stabilisierungsmedium im Stabilisierungsspalt bildbar ist, wobei das zusätzliche Stabilisierungselement bevorzugt ein Deckring ist, der das helico-axiale Laufrad in Umfangsrichtung umschliesst, so dass der Stabilisierungsspalt zwischen dem Deckring und dem Pumpengehäuse ausgebildet ist. Da-

bei kann ein solcher Deckring an allen helico-axialen Laufrädern eines Rotors vorgesehen sein, oder nur an ausgewählten einzelnen Laufrädern, wodurch die Herstellung des Rotors natürlich deutlich weniger aufwändig und kostengünstiger wird.

[0030] Bei einem anderen wichtigen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist das zusätzliche Stabilisierungselement in Form einer Stabilisierungshülse zwischen zwei benachbarten Kompressionsstufen am Rotor vorgesehen. Wobei eine Stabilisierungshülse zwischen allen benachbarten Kompressionsstufen eines Rotors vorgesehen sein kann, wodurch vor allem bei sehr hohen Belastungen eine besonders gute Dämpfung der Schwingungen des Rotors erreichbar ist, oder aber auch nur zwischen einzelnen ausgewählten Paaren von Kompressionsstufen, wodurch die Herstellung des Rotors natürlich deutlich weniger aufwändig und kostengünstiger wird.

[0031] Die Stabilisierungshülse kann dabei derart ausgestaltet und am Rotor angeordnet sein, dass der Stabilisierungsspalt zwischen der Stabilisierungshülse und dem Pumpengehäuse ausgebildet ist, und / oder die Stabilisierungshülse kann auch derart ausgestaltet und am Rotor angeordnet sein, dass der Stabilisierungsspalt zwischen der Stabilisierungshülse und dem Rotor ausgebildet ist. Im Speziellen können an ein und demselben Rotor beide Varianten verwirklicht sein, wodurch sich in bestimmten Fällen eine besondere hohe Laufruhe und besonders gute Dämpfung der Rotorschwingungen erreichen lässt.

[0032] Ist die Geometrie des Stabilisierungsspalts des zusätzlichen hydrodynamischen Stabilisierungselements bei einer erfindungsgemässen helico-axialen Pumpe entsprechend den Anforderungen eingestellt, bildet sich im Betriebszustand über dem Stabilisierungsspalt eine Druckdifferenz zwischen dem Mehrphasengemisch, das sich auf einem höheren Druckniveau befindet und demjenigen, das sich auf einem niedrigeren Druckniveau befindet, derart aus, dass sich ein vorgebbare Fluss von Mehrphasengemisch über den Stabilisierungsspalt vom höheren Druckniveau zurück zum niedrigeren Druckniveau automatisch einstellt, wodurch sich automatisch eine Stabilisierungsschicht zur zusätzlichen Stabilisierung bzw. Dämpfung der schädlichen Schwingungen des Rotor ausbildet.

[0033] Zur Ausbildung der hydrodynamischen Stabilisierungsschicht können jedoch auch zusätzliche Massnahmen ergriffen werden, insbesondere wenn die auftretenden Schwingungen sehr stark sind bzw. wenn die Dämpfung in Abhängigkeit von bestimmten Betriebsparametern, wie zum Beispiel der Last, unter der die Pumpe betrieben wird, oder in Abhängigkeit von der Umdrehungszahl eingestellt werden soll.

[0034] So kann besonders bevorzugt ein bereits höher komprimiertes Mehrphasengemisch benutzt werden, das einer Kompressionsstufe entnommen wird, in der das Mehrphasengemisch bereits stärker komprimiert ist, als es in der Stufe komprimiert wird, in der es für die

Bildung der Stabilisierungsschicht benutzt wird. Alternativ oder gleichzeitig kann jedoch zur Ausbildung der hydrodynamischen Stabilisierungsschicht ein in derselben Kompressionsstufe komprimiertes Mehrphasengemisch verwendet werden, was zum Beispiel noch anhand der Fig. 4 im Detail erläutert werden wird. Hierzu können zum Beispiel im oder am Pumpengehäuse spezielle Kanäle oder Leitungen vorgesehen sein, die eine Zufuhröffnung zur Zuführung des Mehrphasengemischs in den Stabilisierungsspalt mit dem Druckausgang einer vorgebbaren Kompressionsstufe verbinden.

[0035] Es versteht sich dabei, dass das Stabilisierungsmedium zur Bildung der Stabilisierungsschicht in speziellen Fällen auch von anderen externen Quellen zur Verfügung gestellt werden kann, zum Beispiel von einem Druckspeicher oder von einer Pumpe, die das Medium zur Bildung der Stabilisierungsschicht unter einem vorgebbaren, im Speziellen unter einem steuer- und / oder regelbaren Druck zur Einleitung in den Stabilisierungsspalt zur Verfügung stellt. Auch muss das Stabilisierungsmedium zur Bildung der Stabilisierungsschicht nicht zwingend das zu pumpende Mehrphasengemisch sein, sondern kann auch ein anderes Stabilisierungsmedium, z.B. ein Öl, Wasser oder ein anderes flüssiges oder gasförmiges Stabilisierungsmedium bzw. Fluid sein.

[0036] Weiter ist es zum Beispiel möglich, dass mittels eines an sich bekannten Ventils der Druck des in den Stabilisierungsspalt eingeleiteten Mehrphasengemischs gesteuert und / oder geregelt wird. Auch ist es beispielsweise möglich, das Mehrphasengemisch gleichzeitig oder alternativ aus verschiedenen Kompressionsstufen dem Stabilisierungsspalt zuzuführen, wodurch ebenfalls der Druck im Stabilisierungsspalt und damit der Grad der Dämpfung bzw. der Steifigkeit des schwingungsfähigen Rotors auf sehr einfache Weise eingestellt werden kann und sehr flexibel auf unterschiedliche Anforderungen und wechselnde Betriebsbedingungen anpassbar ist.

[0037] Wie später noch anhand der Zeichnungen exemplarisch an besonders bevorzugten Ausführungsbeispielen erläutert werden wird, kann der Stabilisierungsspalt am zusätzlichen Stabilisierungselement und selbstverständlich auch an der Stabilisierungsbuchse, zum Beispiel zwischen der Stabilisierungsfläche und dem Pumpengehäuse ausgebildet sind und / oder auch zwischen der Stabilisierungsfläche und dem Rotor vorgesehen werden.

[0038] Dabei kann in einer besonders bevorzugten Ausführungsvariante der vorliegenden Erfindung ein Zuführkanal vorgesehen sein, der so ausgebildet und angeordnet ist, dass zur Ausbildung der hydrodynamischen Stabilisierungsschicht im Stabilisierungsspalt ein unter einem vorgebbaren Druck stehendes Mehrphasengemisch und daraus resultierend eine vorgebbare Menge an Mehrphasengemisch durch den Zuführkanal dem Stabilisierungsspalt zuführbar ist, wobei der Zuführkanal bevorzugt in einem Spaltring vorgesehen ist.

[0039] So kann das Stabilisierungselement zum Beispiel als Stator mit einem Zuführkanal ausgestaltet sein,

wobei der Zuführkanal so am Stator ausgebildet und angeordnet ist, dass zur Ausbildung der hydrodynamischen Stabilisierungsschicht im Stabilisierungsspalt unter einem vorgebbaren Druck eine vorgebbare Menge eines Stabilisierungsmediums, insbesondere an Mehrphasengemisch durch den Zuführkanal dem Stabilisierungsspalt zuführbar ist.

[0040] In einer weiteren Ausführungsvariante kann der Zuführkanal derart am Pumpengehäuse angeordnet und ausgebildet sein, dass zur Ausbildung der hydrodynamischen Stabilisierungsschicht im Stabilisierungsspalt eine vorgebbare Menge an Stabilisierungsmedium, insbesondere Mehrphasengemisch durch den Zuführkanal dem Stabilisierungsspalt zuführbar ist.

[0041] Oder aber ein Zuführkanal ist derart am Rotor angeordnet und ausgebildet, dass zur Ausbildung der hydrodynamischen Stabilisierungsschicht im Stabilisierungsspalt eine vorgebbare Menge an Stabilisierungsmedium, insbesondere Mehrphasengemisch durch den Zuführkanal dem Stabilisierungsspalt zuführbar ist.

[0042] Wie bereits erwähnt, kann bei einer erfindungsgemässen helico-axialen Pumpe das Stabilisierungsmedium, insbesondere das Mehrphasengemisch dem Zuführkanal besonders bevorzugt von einer Kompressionsstufe zugeführt werden, an der ein höheres Druckniveau herrscht, als an derjenigen Kompressionsstufen, der es als Stabilisierungsmedium zugeführt wird. Alternativ oder gleichzeitig kann jedoch zur Ausbildung der hydrodynamischen Stabilisierungsschicht auch ein in derselben Kompressionsstufe komprimiertes Mehrphasengemisch verwendet werden.

[0043] Die Erfindung betrifft weiterhin einen Rotor zur Anordnung in einem Pumpengehäuse einer helico-axialen Pumpe zur Förderung eines Mehrphasengemischs. Dabei umfasst der um eine Längsachse drehbar lagerbare Rotor einen ersten Teilrotor und einen zweiten Teilrotor, und der erste Teilrotor und der zweite Teilrotor umfasst zur Kompression des Mehrphasengemischs eine Kompressionsstufe mit einem helico-axialen Laufrad und einem Stator. Erfindungsgemäss ist eine hydrodynamische Stabilisierungsbuchse mit einer Stabilisierungsfläche derart zwischen dem ersten Teilrotor und dem zweiten Teilrotor vorgesehen und ausgestaltet, dass vor der Stabilisierungsfläche ein Stabilisierungsspalt ausbildbar ist, so dass im Betriebszustand eine hydrodynamische Stabilisierungsschicht aus einem Stabilisierungsmedium im Stabilisierungsspalt bildbar ist.

[0044] Bei einem speziellen Ausführungsbeispiel kann ein zusätzliches hydrodynamisches Stabilisierungselement mit einer Stabilisierungsfläche in Form eines Deckrings vorgesehen sein, der das helico-axiale Laufrad in Umfangsrichtung umschliesst, so dass der Stabilisierungsspalt zwischen dem Deckring und einem Pumpengehäuse der helico-axialen Pumpe ausbildbar ist. Alternativ oder gleichzeitig kann das hydrodynamische Stabilisierungselement aber auch eine Stabilisierungshülse sein, die zum Beispiel zwischen zwei benachbarten Kompressionsstufen vorgesehen ist, so dass der Stabilisie-

rungsspalt zwischen der Stabilisierungshülse und dem Pumpengehäuse ausgebildet ist.

[0045] Im Speziellen kann ein Zuführkanal vorgesehen sein, der so ausgebildet und angeordnet ist, dass zur Ausbildung der hydrodynamischen Stabilisierungsschicht im Stabilisierungsspalt eine vorgebbare Menge an Stabilisierungsmedium, insbesondere Mehrphasengemisch durch den Zuführkanal dem Stabilisierungsspalt zuführbar ist.

[0046] Die Erfindung betrifft weiter eine Hybridpumpe mit einem erfindungsgemässen Rotor für eine helico-axiale Pumpe er vorliegenden Erfindung zur Förderung eines Mehrphasengemischs.

[0047] Schliesslich betrifft die Erfindung auch ein Verfahren zur hydrodynamischen Lagerung eines erfindungsgemässen Rotors in einer helico-axialen Pumpe oder in einer Hybridpumpe gemäss der vorliegenden Erfindung, wobei in einem Pumpengehäuse der Rotor drehbar um eine Längsachse gelagert wird, und der Rotor zur Kompression des Mehrphasengemischs eine Kompressionsstufe mit einem helico-axialen Laufrad und einem Stator umfasst. Erfindungsgemäss wird eine hydrodynamische Stabilisierungsbuchse mit einer Stabilisierungsfläche derart im Pumpengehäuse vorgesehen und ausgestaltet, dass vor der Stabilisierungsfläche ein Stabilisierungsspalt ausgebildet wird, so dass im Betriebszustand eine hydrodynamische Stabilisierungsschicht aus einem Stabilisierungsmedium im Stabilisierungsspalt zur hydrodynamischen Lagerung des Rotors gebildet wird.

[0048] Im Folgenden wird die Erfindung an Hand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen in schematischer Darstellung:

- 35 Fig. 1 a eine Kompressionsstufe einer aus dem Stand der Technik bekannten helico-axialen Pumpe;
- 40 Fig. 1 b eine Pumpe gemäss Fig. 1a teilweise im Schnitt;
- Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemässen helicoaxialen Pumpe in Back-to-Back Anordnung;
- 45 Fig. 3 eine Detaildarstellung der Back-to-Back Anordnung gemäss Fig. 2 im Betriebszustand;
- 50 Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel mit einem zusätzlichen hydrodynamischen Stabilisierungselement in Form eines Deckrings;
- Fig. 5a ein Ausführungsbeispiel der Fig. 4 mit zusätzlicher Einspritzung am Deckring;
- 55 Fig. 5b das Ausführungsbeispiel der Fig. 5a mit Einspritzung unter höherem Druck;

- Fig. 6a ein drittes Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 4 mit Einspritzung am Stator;
- Fig. 6b ein anderes Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 6a ohne Deckring am helico-axialen Laufrad;
- Fig. 6c ein weiteres Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 6b mit Einspritzung aus dem Rotor;
- Fig. 7a ein viertes Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 4 mit Stabilisierungshülse und Einspritzung;
- Fig. 7b ein anderes Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 7a ohne Deckring am helico-axialen Laufrad.

[0049] Der anhand der Fig. 1a und Fig. 1b beschriebene Stand der Technik wurde eingangs bereits eingehend beschrieben, so dass sich hier eine weitere Diskussion der Fig. 1a und Fig. 1b erübrigt.

[0050] An dieser Stelle sei im Übrigen darauf hingewiesen, dass zur besseren Unterscheidung der Erfindung vom Stand der Technik in den Zeichnungen diejenigen Bezugszeichen, die sich auf Merkmale bzw. Ausführungsformen aus dem Stand der Technik beziehen, mit einem Hochkomma versehen sind, während Bezugszeichen zu Merkmalen erfindungsgemässer Ausführungsbeispiele kein Hochkomma tragen.

[0051] Anhand der Fig. 2 soll ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemässen helico-axialen Pumpe in Back-to-Back Anordnung schematisch erläutert werden.

[0052] Die helico-axiale Pumpe 1 zur Förderung eines Mehrphasengemischs M gemäss Fig. 2 umfasst einen in einem Pumpengehäuse 6 um eine Längsachse A drehbar gelagerten Rotor 2 mit einem ersten Teilrotor 21 und einen zweiten Teilrotor 22. Der Rotor 2 wird von einem Antrieb 1000, der zu Beispiel ein elektrischer Motor 1000 ist angetrieben. Der erste Teilrotor 21 und der zweite Teilrotor 22 zur Kompression des Mehrphasengemischs M umfassen jeweils mehrere eine Kompressionsstufen K mit einem helico-axialen Laufrad 3 und einem Stator 4. Gemäss der vorliegenden Erfindung ist eine hydrodynamische Stabilisierungsbuchse 70 mit einer Stabilisierungsfläche 700 derart zwischen dem ersten Teilrotor 21 und dem zweiten Teilrotor 22 vorgesehen, dass vor der Stabilisierungsfläche 700 ein Stabilisierungsspalt 8 ausgebildet ist, so dass eine hydrodynamische Stabilisierungsschicht S aus einem Stabilisierungsmedium im Stabilisierungsspalt 8 im Betriebszustand der Pumpe 1 gebildet werden kann.

[0053] Die Fig. 3 zeigt eine Detaildarstellung der Back-to-Back Anordnung gemäss Fig. 2 im Betriebszustand der helico-axialen Pumpe 1. Wie deutlich zu erkennen ist, sind der erste Teilrotor 21 und der zweite Teilrotor 22 in einer Back-to-Back Anordnung auf einer gemeinsamen Pumpenwelle 5 im Pumpengehäuse 6 angeordnet.

Der erste Teilrotor 21 und der zweite Teilrotor 22 sind dabei durch die Stabilisierungsbuchse 70 voneinander getrennt. Das Mehrphasengemisch M wird über eine Saugöffnung 101 einen ersten Ringraum R1 und einen zweiten Ringraum R2 einer ersten Eingangskompressionsstufe K1 E des ersten Teilrotors 21 zugeführt und über eine erste Ausgangskompressionsstufe K1 A aus dem ersten Teilrotor 21 in einen ersten Kreuzkanal KR1 aus dem ersten Teilrotor 21 wieder abgeführt. Aus dem ersten Kreuzkanal KR1 kommend wird das Mehrphasengemisch M dann über einen dritten Ringraum R3 einer zweiten

[0054] Eingangskompressionsstufe K2E des zweiten Teilrotors 22 zugeführt und über eine zweite Ausgangskompressionsstufe K2A aus dem zweiten Teilrotor 22 über einen zweiten Kreuzkanal KR2, einen vierten Ringraum R4 und eine Drucköffnung 102 aus der helico-axialen Pumpe zur weiteren Verwendung wieder abgeführt wird. Um eine maximale Druckdifferenz ΔP über der Stabilisierungsbuchse 70 zu erhalten und damit die Ausbildung einer optimalen Stabilisierungsschicht S im Stabilisierungsspalt 8 zu gewährleisten, sind die erste Ausgangskompressionsstufe K1 A und die zweite Ausgangskompressionsstufe K2A jeweils benachbart zur Stabilisierungsbuchse 70 angeordnet.

[0055] Beim Beispiel der Fig. 3 ist die Stabilisierungsbuchse 70 derart ausgestaltet und am Rotor 2 angeordnet, dass der Stabilisierungsspalt 8 zwischen der Stabilisierungsbuchse 70 und dem Pumpengehäuse 6 ausgebildet ist. Wie später noch völlig analog anhand der Fig. 6a bis 7b näher erläutert werden wird, kann die Stabilisierungsbuchse 70 alternativ oder sogar gleichzeitig auch derart ausgestaltet und am Rotor 2 angeordnet sein, dass der Stabilisierungsspalt 8 zwischen der Stabilisierungsbuchse 70 und dem Rotor 2 ausgebildet ist.

[0056] Anhand der Fig. 4a, das einen Ausschnitt mit zwei benachbarten Kompressionsstufen K eines erfindungsgemässen Rotors 2 in schematischer Darstellung zeigt, soll ein Ausführungsbeispiel mit einem zusätzlichen hydrodynamischen Stabilisierungselement in Form eines Deckrings kurz diskutiert werden.

[0057] Der Rotor 2 der helico-axialen Pumpe 1 ist im Pumpengehäuse 6 um eine Längsachse A drehbar gelagert. Der Rotor 2 umfasst dabei zur Kompression des Mehrphasengemischs M in an sich bekannter Weise die Kompressionsstufen K mit einem helico-axialen Laufrad 3 und einem Stator 4.

[0058] Gemäss der vorliegenden Erfindung ist dabei zusätzlich zu der in Fig. 4a nicht explizit gezeigten Stabilisierungsbuchse 70 ein hydrodynamisches Stabilisierungselement 7, 71 mit einer Stabilisierungsfläche 700 derart im Pumpengehäuse 6 vorgesehen und derart ausgestaltet, dass vor der Stabilisierungsfläche 700 ein Stabilisierungsspalt 8 ausgebildet wird, so dass im Betriebszustand auch hier eine hydrodynamische Stabilisierungsschicht S aus dem Mehrphasengemisch M im Stabilisierungsspalt 8 ausgebildet wird.

[0059] Im vorliegenden Beispiel der Fig. 4 ist das zu-

sätzliche Stabilisierungselement 7 ein Deckring 71, der das helico-axiale Laufrad 3 in Umfangsrichtung umschliesst, so dass der Stabilisierungsspalt 8 zwischen dem Deckring 71 und dem Pumpengehäuse 6 ausgebildet werden kann.

[0060] Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind dabei in allen folgenden Figuren jeweils nur eine oder zwei Kompressionsstufen K dargestellt. Auch wenn es im Prinzip möglich ist, dass eine erfindungsgemässe helico-axiale Pumpe 1 nur eine einzige Kompressionsstufe K umfasst, wird eine erfindungsgemässe helico-axiale Pumpe 1, d.h. der erste Teilrotor 21 und der zweite Teilrotor 22 in der Praxis eine Vielzahl von Kompressionsstufen K umfassen, zum Beispiel bis zu sechzehn Kompressionsstufen K oder sogar noch deutlich mehr Kompressionsstufen K, die bevorzugt hintereinander in Serie entlang der Längsachse A angeordnet sind, so dass in an sich bekannter Weise eine ausreichende Gesamtkompression des Mehrphasengemischs M erzeugt werden kann und das so komprimierte Mehrphasengemisch M dann zum Beispiel mit einer nach geschalteten Druckpumpe auf ein höheres Niveau und / oder über weite Strecken zur Weiterverarbeitung gefördert werden kann.

[0061] Beim Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 4 wird die Stabilisierungsschicht S aus dem Stabilisierungsmedium M im Stabilisierungsspalt 8 dadurch gebildet, dass das Mehrphasengemisch M, wie durch den Doppelpfeil M symbolisch gezeigt, darstellungsgemäss von links der darstellungsgemäss linken Kompressionsstufe K zugeführt und von dieser in an sich bekannter Weise komprimiert wird, was selbstverständlich mit einer entsprechenden Druckerhöhung einhergeht, die sich auch als Druckdifferenz ΔP über das helico-axiale Laufrad 3 Kompressionsstufe K etabliert.

[0062] Aufgrund der Druckdifferenz ΔP wird, wie durch die kleinen gebogenen Pfeile M angedeutet, vom darstellungsgemäss rechts gelegen höheren Druckniveau Mehrphasengemisch M in den Stabilisierungsspalt 8 gepresst, wodurch sich automatisch die hydrodynamische Stabilisierungsschicht S zwischen der Stabilisierungsfläche 700 des Deckrings 7 und dem Pumpengehäuse 6 ausbildet, wodurch die Schwingen des Rotors 2 bzw. der Teilrotoren 21, 22 gedämpft werden und der Lauf des Rotors 2 stabilisiert wird.

[0063] Es versteht sich dabei, dass bei einem Rotor 2 der vorliegenden Erfindung der Deckring 71 entweder an allen helico-axialen Laufrädern 3 des Rotors ausgebildet sein kann, oder nur an bestimmten ausgewählten Helico-axialen Laufrädern 3. Im übrigen kann je nach Anwendung bzw. je nach den speziellen Erfordernissen der Deckring 71 ein helico-axiales Laufrad 3 vollständig abdecken oder einen eine bestimmten vorgebbaren Bereich des Umfangs des helico-axialen Laufrads 3.

[0064] Anhand der Fig. 5a ist ein zweites Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 4 schematisch dargestellt, das sich von dem der Fig. 4 dadurch unterscheidet, dass eine Einspritzung des Stabilisierungsmediums M am Deckring 71 des helico-axialen Laufrads 3 vorgesehen ist. Hier

wird zusätzlich Stabilisierungsmedium M durch den Zuführkanal 400, 402 in den Stabilisierungsspalt 8 zur Bildung der Stabilisierungsschicht S eingebracht. Es versteht sich, dass auch sich hier wie bereits bei der Diskussion der Fig. 4 beschrieben, eine Druckdifferenz ΔP über dem helico-axialen Laufrad 3 im Betriebszustand einstellen wird, wodurch die Stabilisierungsschicht S bereits teilweise gebildet wird. Durch Verwendung der Einspritzung von Stabilisierungsmedium M unter erhöhtem Druck durch den Zuführkanal 400, 402, kann jedoch eine noch bessere Stabilisierungsschicht S im Stabilisierungsspalt 8 aufgebaut werden, so dass auch sehr lange Rotoren 2 bzw. sehr stark belastete Rotor 2 noch ausreichend gedämpft und sicher gelagert werden können.

[0065] Im Prinzip kann eine zusätzliche Einspritzung von Stabilisierungsmedium auch in den Stabilisierungsspalt S der Stabilisierungsbuchse 70 erfolgen.

[0066] Das Ausführungsbeispiel der Fig. 5b unterscheidet sich dabei von demjenigen der Fig. 5a nur dadurch, dass die Einspritzung des Stabilisierungsmediums M am Deckring 71 des helico-axialen Laufrads 3 unter einem deutlich höheren Druck erfolgt, als beim Beispiel der Fig. 5a. Das ist deutlich daran zu erkennen, dass das Stabilisierungsmedium M bei Fig. 5b darstellungsgemäss sowohl nach links, also in Richtung zu einer Kompressionsstufe K mit einem niedrigeren Druckniveau als auch nach rechts, also auch in Richtung einer Kompressionsstufe mit einem höheren Druckniveau aus dem Stabilisierungsspalt 8 herausgepresst wird.

[0067] Dagegen ist beim Beispiel der Fig. 5a der Druck mit dem das Stabilisierungsmedium M durch den Zuführkanal 400, 402 in den Stabilisierungsspalt 8 zur Bildung der Stabilisierungsschicht S eingebracht wird deutlich kleiner als in Fig. 3a. Das ist klar daran zu erkennen, dass das Stabilisierungsmedium M bei Fig. 3 darstellungsgemäss von rechts, also von einer Kompressionsstufe mit einem höheren Druckniveau in den Stabilisierungsspalt 8 eintreten kann.

[0068] Das Stabilisierungsmedium M kann dabei wie bereits beschrieben von einem externen Druckspeicher oder einer externen Pumpe zur Verfügung gestellt werden; wird jedoch bevorzugt von einer anderen Kompressionsstufe K, die ein höheres Druckniveau hat, zur Verfügung gestellt.

[0069] Anhand der schematischen Fig. 6a wird ein drittes Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 4 mit einer Einspritzung des Stabilisierungsmediums am Stator 4 dargestellt. Hier ist am Stator 4, zum Beispiel an einer Schaufel des Stators 4 ein Zuführkanal 400, 401 in Form einer Bohrung vorgesehen oder aber es kann auch ein separater Zuführkanal 400, 401 vorgesehen werden, der sich wie in Fig. 6a dargestellt, durch das Pumpengehäuse 6 bis zum Stabilisierungsspalt 8 erstreckt, so dass zwischen dem Rotor 2 und der Stabilisierungsfläche 700 des als Stabilisierungselement 73 ausgebildeten Stators 4 eine erfindungsgemässe Stabilisierungsschicht S aus Stabilisierungsmedium M, das im speziellen Beispiel der Fig. 6a Mehrphasengemisch M von einer anderen Kom-

pressionsstufe ist, ausgebildet werden kann.

[0070] In Fig. 6b ist ein anderes Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 6a dargestellt, das sich von dem der Fig. 6a nur dadurch unterscheidet, dass am helico-axialen Laufrad 3 kein Deckring 71 vorgesehen ist. Eine solche vereinfachte Konstruktion kann zum Beispiel immer dann erfolgreich eingesetzt werden, wenn die Stabilisierung des Rotors 2 durch die Stabilisierungsschicht S am Stator 4 bereits ausreicht.

[0071] Fig. 6c zeigt eine weitere Variante des Ausführungsbeispiels gemäss Fig. 6b. Hier erfolgt die Zuführung des Stabilisierungsmediums M nicht über einen Zuführkanal 400, 401 durch das Pumpengehäuse 6, sondern die Einspritzung des Stabilisierungsmediums M erfolgt durch einen Zuführkanal 400, 403, der im Rotor 2 ausgebildet ist. Dazu kann der Rotor 2 zum Beispiel eine hohle Rotorwelle haben oder es können in der Rotorwelle geeignete Kanäle oder Leitungen ausgebildet sein, durch die das Stabilisierungsmedium M, zum Beispiel Mehrphasengemisch M aus einer Kompressionsstufe K mit einem höheren Druckniveau zuführbar ist.

[0072] Die Fig. 7a zeigt dagegen ein viertes, anderes Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 4, bei welchem zwischen zwei benachbarten Kompressionsstufen K eine zusätzliche Stabilisierungshülse 72 vorgesehen ist, wobei Einspritzung des Stabilisierungsmediums M in den Stabilisierungsspalt 8 durch einen durch das Pumpengehäuse 6 geführten Zuführkanal 400, 402 erfolgt. Eine solche Anordnung ist besonders geeignet, wenn eine sehr hohe Stabilität bzw. Dämpfung des Rotors 2 erreicht werden muss. Dabei kann die Einspritzung in den Stabilisierungsspalt 8 im Prinzip auch analog zu Fig. 6c durch die Rotorwelle des Rotors 2 erfolgen. Ausserdem ist es wie schematisch in Fig. 7b gezeigt natürlich auch möglich, dass an allen oder verschiedenen helico-axialen Laufrädern 3 auf den Deckring verzichtet werden kann.

[0073] Dabei ist es in speziellen Fällen selbstverständlich auch möglich, dass alternativ oder zusätzlich zu der Stabilisierungshülse 72 zwischen jeweils zwei benachbarten Kompressionsstufen K, eine Stabilisierungshülse 72 auch innerhalb einer Kompressionsstufe K zwischen dem helico-axialen Laufrad 3 und dem Stator 4 vorgesehen sein kann. Dabei versteht der Fachmann sofort, dass nicht an jeder bzw. nicht zwischen jedem Paar von Kompressionsstufen K eine Stabilisierungshülse 72 vorgesehen sein muss.

[0074] Es versteht sich, dass alle oben beschriebenen Ausführungsbeispiele der Erfindung nur beispielhaft bzw. exemplarisch zu verstehen sind und die Erfindung insbesondere, aber nicht nur, alle geeigneten Kombinationen der beschriebenen Ausführungsbeispiele umfasst.

Patentansprüche

1. Helico-axiale Pumpe zur Förderung eines Mehrpha-

sengemischs (M), welche helico-axiale Pumpe einen in einem Pumpengehäuse (6) um eine Längsachse (A) drehbar gelagerten Rotor (2) mit einem ersten Teilrotor (21) und einen zweiten Teilrotor (22) umfasst, wobei der erste Teilrotor (21) und der zweite Teilrotor (22) zur Kompression des Mehrphasengemischs (M) eine Kompressionsstufe (K, K1 E, K1 A, K2E, K2A) mit einem helico-axialen Laufrad (3) und einem Stator (4) umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine hydrodynamische Stabilisierungsbuchse (70) mit einer Stabilisierungsfläche (700) derart zwischen dem ersten Teilrotor (21) und dem zweiten Teilrotor (22) vorgesehen und ausgestaltet ist, dass vor der Stabilisierungsfläche (700) ein Stabilisierungsspalt (8) ausgebildet ist, so dass im Betriebszustand eine hydrodynamische Stabilisierungsschicht (S) aus einem Stabilisierungsmedium im Stabilisierungsspalt (8) bildbar ist.

2. Helico-axiale Pumpe nach Anspruch 1, wobei der erste Teilrotor (21) und der zweite Teilrotor (22) derart in einer Back-to-Back Anordnung im Pumpengehäuse (6) vorgesehen sind, dass das Mehrphasengemisch (M) über eine Saugöffnung (101) einer ersten Eingangskompressionsstufe (K1 E) des ersten Teilrotors (21) zuführbar ist und über eine erste Ausgangskompressionsstufe (K1 A) aus dem ersten Teilrotor (21) in einen ersten Kreuzkanal (KR1) wieder abführbar ist, und das Mehrphasengemisch (M) aus dem ersten Kreuzkanal (KR1) einer zweiten Eingangskompressionsstufe (K2E) des zweiten Teilrotors (22) zuführbar ist und über eine zweite Ausgangskompressionsstufe (K2A) aus dem zweiten Teilrotor (22) über einen zweiten Kreuzkanal (KR2) und eine Drucköffnung (102) aus der helico-axialen Pumpe wieder abführbar ist, wobei die erste Ausgangskompressionsstufe (K1 A) und die zweite Ausgangskompressionsstufe (K2A) jeweils benachbart zur Stabilisierungsbuchse (70) angeordnet sind.

3. Helico-axiale Pumpe nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei die Stabilisierungsbuchse (70) derart ausgestaltet und am Rotor (2) angeordnet ist, dass der Stabilisierungsspalt (8) zwischen der Stabilisierungsbuchse (70) und dem Pumpengehäuse (6) ausgebildet ist, und / oder wobei die Stabilisierungsbuchse (70) derart ausgestaltet und am Rotor (2) angeordnet ist, dass der Stabilisierungsspalt (8) zwischen der Stabilisierungsbuchse (70) und dem Rotor (2) ausgebildet ist.

4. Helico-axiale Pumpe nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei ein hydrodynamisches Stabilisierungselement (7, 71, 72, 73) mit einer Stabilisierungsfläche (700) derart vorgesehen und ausgestaltet ist, dass vor der Stabilisierungsfläche (700) der Stabilisierungsspalt (8) ausgebildet ist, so dass im Betriebszustand eine hydrodynamische Stabili-

sierungsschicht (S) aus dem Stabilisierungsmedium im Stabilisierungsspalt (8) bildbar ist.

5. Helico-axiale Pumpe nach einem Anspruch 4, wobei das hydrodynamische Stabilisierungselement (7, 71, 72, 73) ein Deckring (71) ist, der das helico-axiale Laufrad (3) in Umfangsrichtung umschliesst, so dass der Stabilisierungsspalt (8) zwischen dem Deckring (71) und dem Pumpengehäuse (6) ausgebildet ist und / oder wobei das hydrodynamische Stabilisierungselement (7, 71, 72, 73) eine Stabilisierungshülse (72) ist, so dass der Stabilisierungsspalt (8) zwischen der Stabilisierungshülse (72) und dem Pumpengehäuse (6) ausgebildet ist.
6. Helico-axiale Pumpe nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei ein Zuführkanal (400, 401, 402, 403) vorgesehen ist, der so ausgebildet und angeordnet ist, dass zur Ausbildung der hydrodynamischen Stabilisierungsschicht (S) im Stabilisierungsspalt (8) eine vorgebbare Menge an Stabilisierungsmedium (M), insbesondere Mehrphasengemisch (M) durch den Zuführkanal (400, 401, 402, 403) dem Stabilisierungsspalt (8) zuführbar ist, wobei der Zuführkanal (400, 401, 402, 403) bevorzugt in einem Spaltring (9) vorgesehen ist.
7. Helico-axiale Pumpe nach einem der Ansprüche 4 bis 6, wobei das Stabilisierungselement (7, 71, 72, 73) der Stator (4) mit einem Zuführkanal (401) ist, der so am Stator (4) ausgebildet und angeordnet ist, dass zur Ausbildung der hydrodynamischen Stabilisierungsschicht (S) im Stabilisierungsspalt (8) eine vorgebbare Menge an Stabilisierungsmedium (M) durch den Zuführkanal (401) dem Stabilisierungsspalt (8) zuführbar ist.
8. Helico-axiale Pumpe nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei am Pumpengehäuse ein Zuführkanal (402) derart angeordnet und ausgebildet ist, dass zur Ausbildung der hydrodynamischen Stabilisierungsschicht (S) im Stabilisierungsspalt (8) eine vorgebbare Menge an Stabilisierungsmedium (M) durch den Zuführkanal (402) dem Stabilisierungsspalt (8) zuführbar ist.
9. Helico-axiale Pumpe nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei am Rotor (2) ein Zuführkanal (403) derart angeordnet und ausgebildet ist, dass zur Ausbildung der hydrodynamischen Stabilisierungsschicht (S) im Stabilisierungsspalt (8) eine vorgebbare Menge an Stabilisierungsmedium (M) durch den Zuführkanal (403) dem Stabilisierungsspalt (8) zuführbar ist.
10. Helico-axiale Pumpe nach einem der Ansprüche 6 bis 9, wobei dem Zuführkanal (400, 401, 402, 403) das Stabilisierungsmedium (M) von einer Kompres-

sionsstufe (K) zugeführt wird, an der ein höheres Druckniveau herrscht.

11. Rotor zur Anordnung in einem Pumpengehäuse (6) einer helico-axialen Pumpe (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10 zur Förderung eines Mehrphasengemischs (M), wobei der um eine Längsachse (A) drehbar lagerbare Rotor (2) einen ersten Teilrotor (21) und einen zweiten Teilrotor (22) umfasst, und der erste Teilrotor (21) und der zweite Teilrotor (22) zur Kompression des Mehrphasengemischs (M) eine Kompressionsstufe (K, K1 E, K1A, K2E, K2A) mit einem helico-axialen Laufrad (3) und einem Stator (4) umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine hydrodynamische Stabilisierungsbuchse (70) mit einer Stabilisierungsfläche (700) derart zwischen dem ersten Teilrotor (21) und dem zweiten Teilrotor (22) vorgesehen und ausgestaltet ist, dass vor der Stabilisierungsfläche (700) ein Stabilisierungsspalt (8) ausbildbar ist, so dass im Betriebszustand eine hydrodynamische Stabilisierungsschicht (S) aus einem Stabilisierungsmedium im Stabilisierungsspalt (8) bildbar ist.
12. Rotor nach Anspruch 11, wobei ein hydrodynamisches Stabilisierungselement (7, 71, 72, 73) mit einer Stabilisierungsfläche (700) in Form eines Deckrings (71) vorgesehen ist, der das helico-axiale Laufrad (3) in Umfangsrichtung umschliesst, so dass der Stabilisierungsspalt (8) zwischen dem Deckring (71) und einem Pumpengehäuse (6) der helico-axialen Pumpe (1) ausbildbar ist, und / oder wobei das hydrodynamische Stabilisierungselement (7, 71, 72, 73) eine Stabilisierungshülse (72) ist, so dass der Stabilisierungsspalt (8) zwischen der Stabilisierungshülse (72) und dem Pumpengehäuse (6) ausgebildet ist.
13. Rotor nach einem der Ansprüche 11 oder 12, wobei ein Zuführkanal (400, 401, 402, 403) vorgesehen ist, der so ausgebildet und angeordnet ist, dass zur Ausbildung der hydrodynamischen Stabilisierungsschicht (S) im Stabilisierungsspalt (8) eine vorgebbare Menge an Stabilisierungsmedium (M), insbesondere Mehrphasengemisch (M) durch den Zuführkanal (400, 401, 402, 403) dem Stabilisierungsspalt (8) zuführbar ist.
14. Hybridpumpe mit einem Rotor nach einem der Ansprüche 11 bis 13 für eine helico-axiale Pumpe (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10 zur Förderung eines Mehrphasengemischs (M).
15. Verfahren zur hydrodynamischen Lagerung eines Rotors (2) nach einem der Ansprüche 11 bis 13 in einer helico-axialen Pumpe (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10 oder in einer Hybridpumpe nach Anspruch 14, wobei in einem Pumpengehäuse (6)

der Rotor (2) drehbar um eine Längsachse (A) gelagert wird, und der Rotor (2) zur Kompression des Mehrphasengemischs (M) eine Kompressionsstufe (K) mit einem helico-axialen Laufrad (3) und einem Stator (4) umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine hydrodynamische Stabilisierungsbuchse (70) mit einer Stabilisierungsfläche (700) derart im Pumpengehäuse (6) vorgesehen und ausgestaltet wird, dass vor der Stabilisierungsfläche (700) ein Stabilisierungsspalt (8) ausgebildet wird, so dass im Betriebszustand eine hydrodynamische Stabilisierungsschicht (S) aus einem Stabilisierungsmedium (M) im Stabilisierungsspalt (8) zur hydrodynamischen Lagerung des Rotors (2) gebildet wird.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

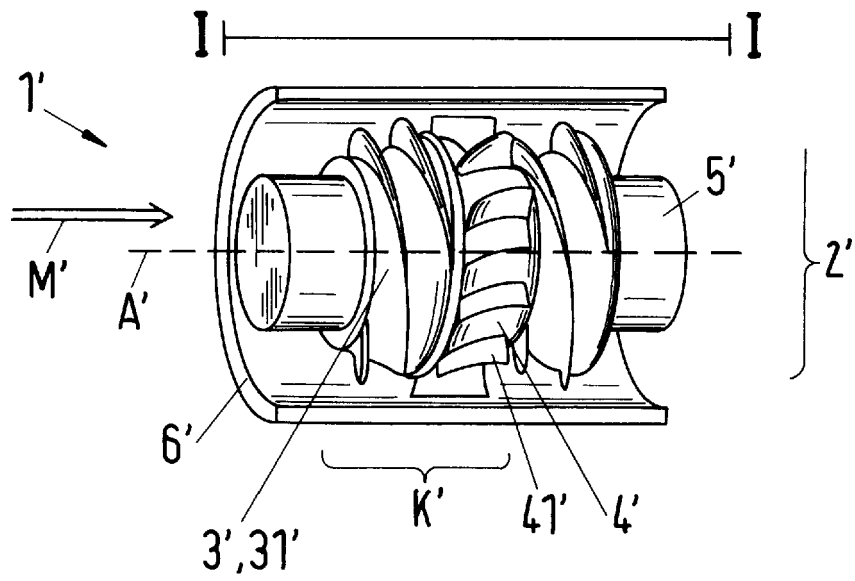


Fig.1a

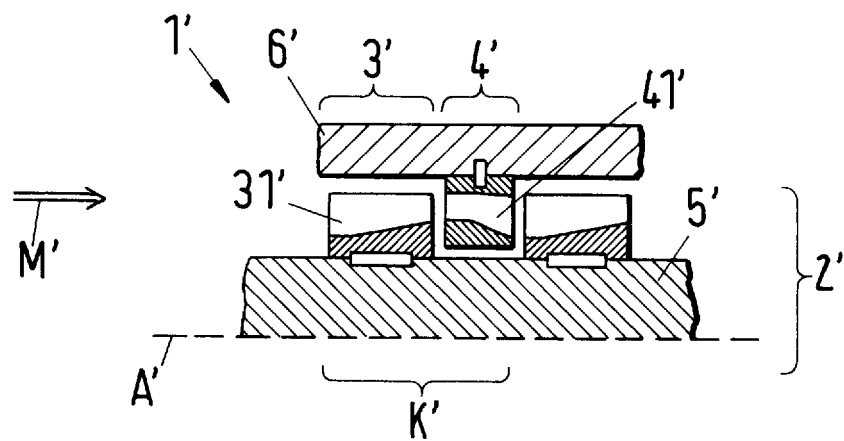


Fig.1b

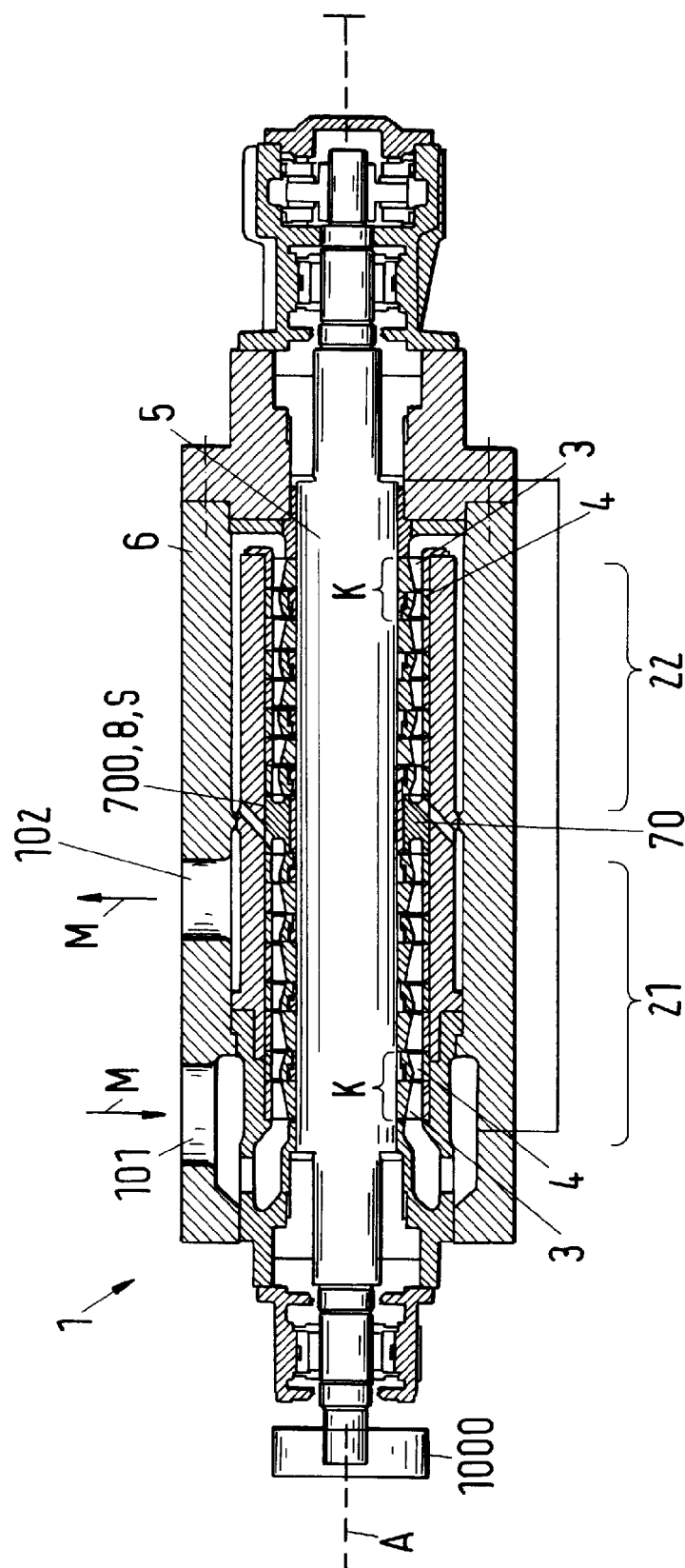


Fig.2

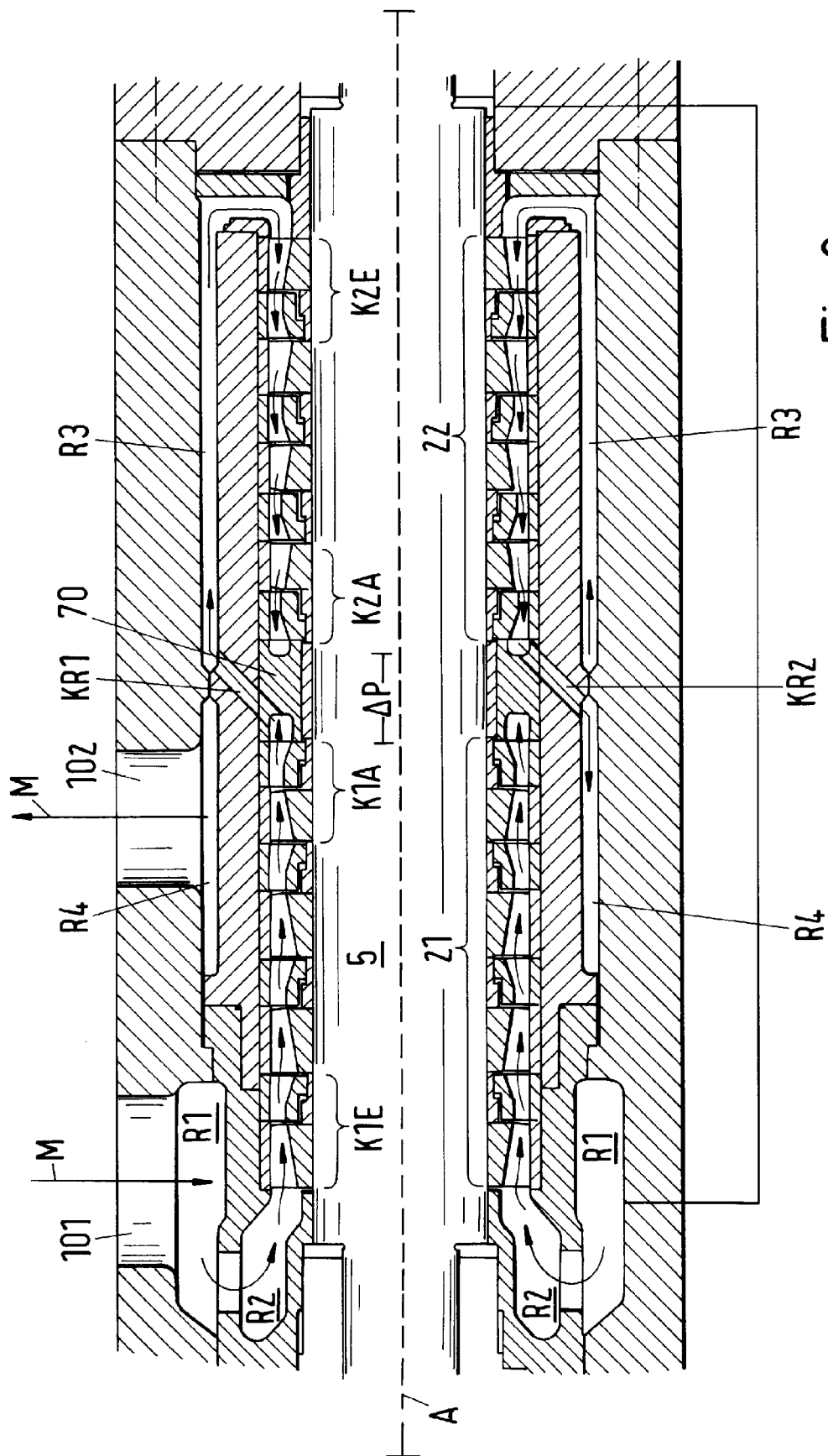


Fig.3

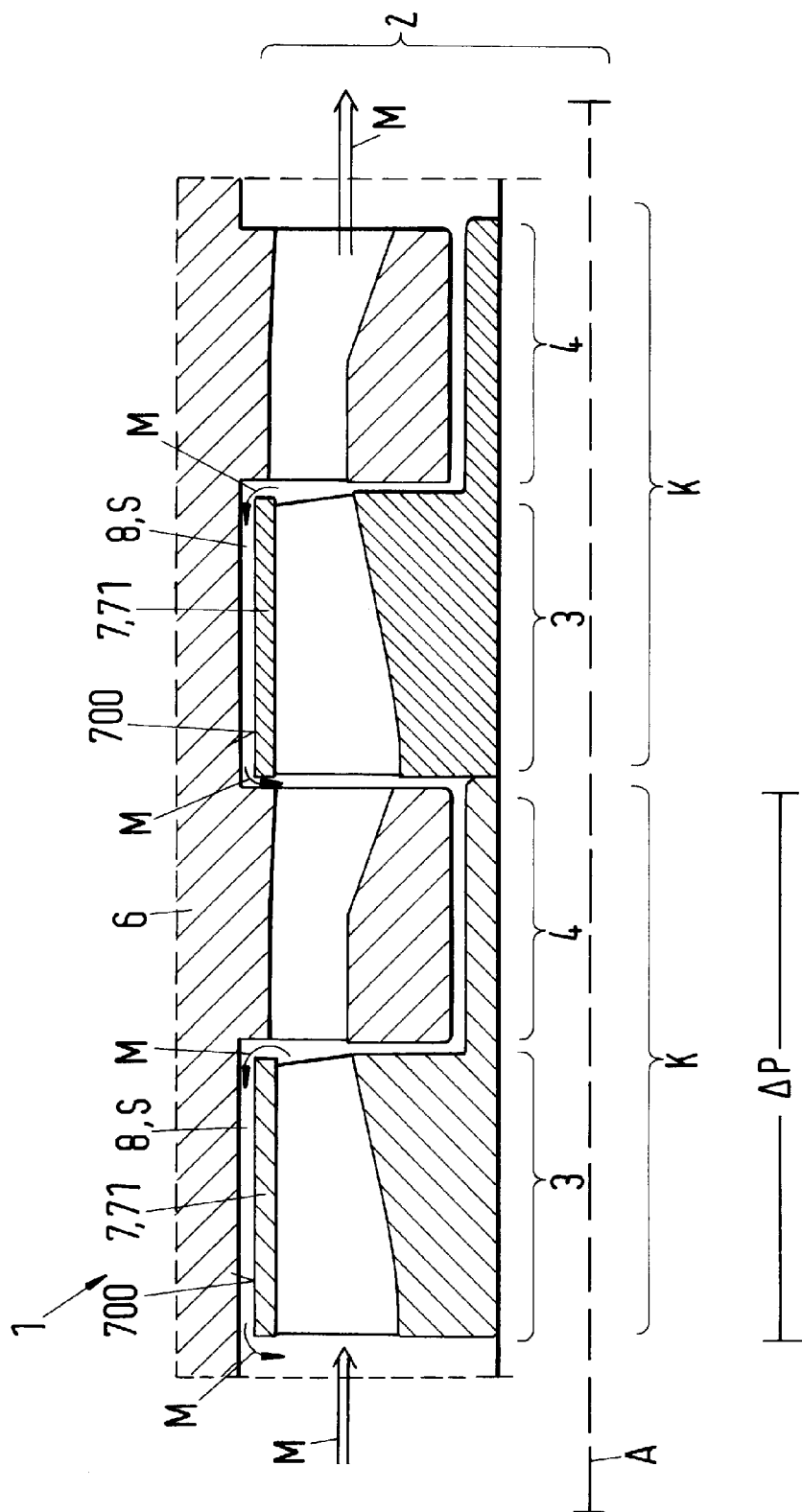


Fig.4

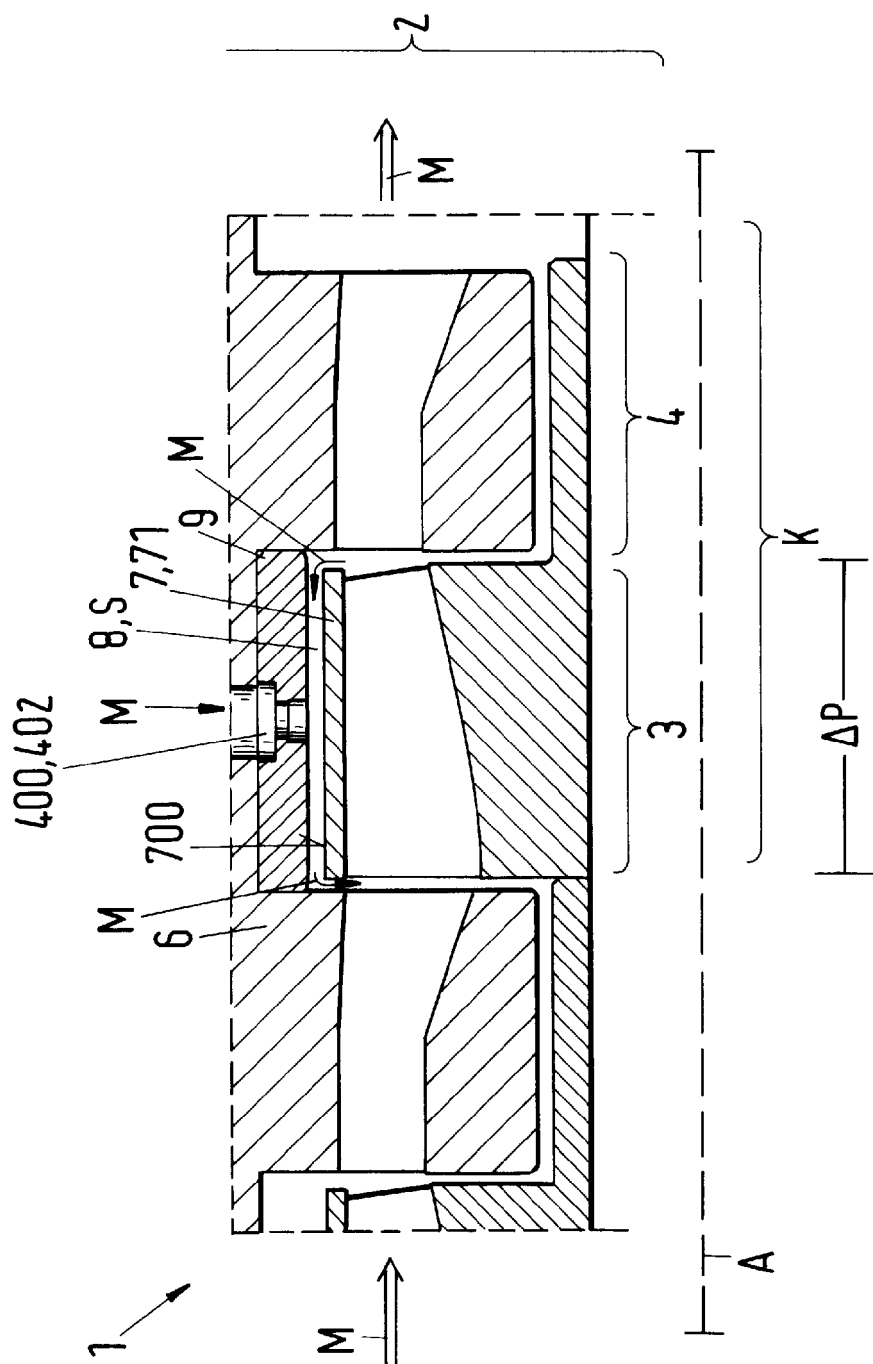
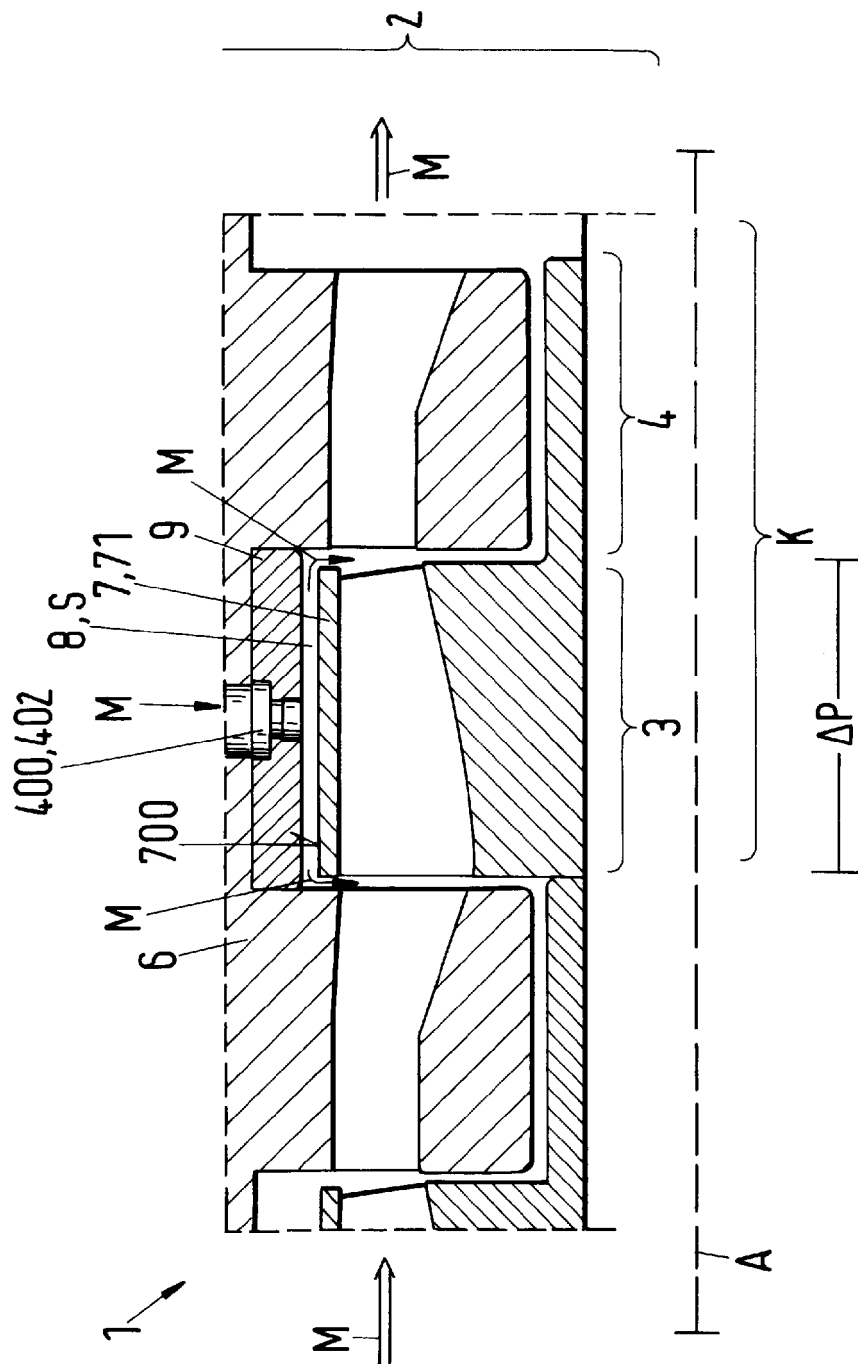


Fig.5a



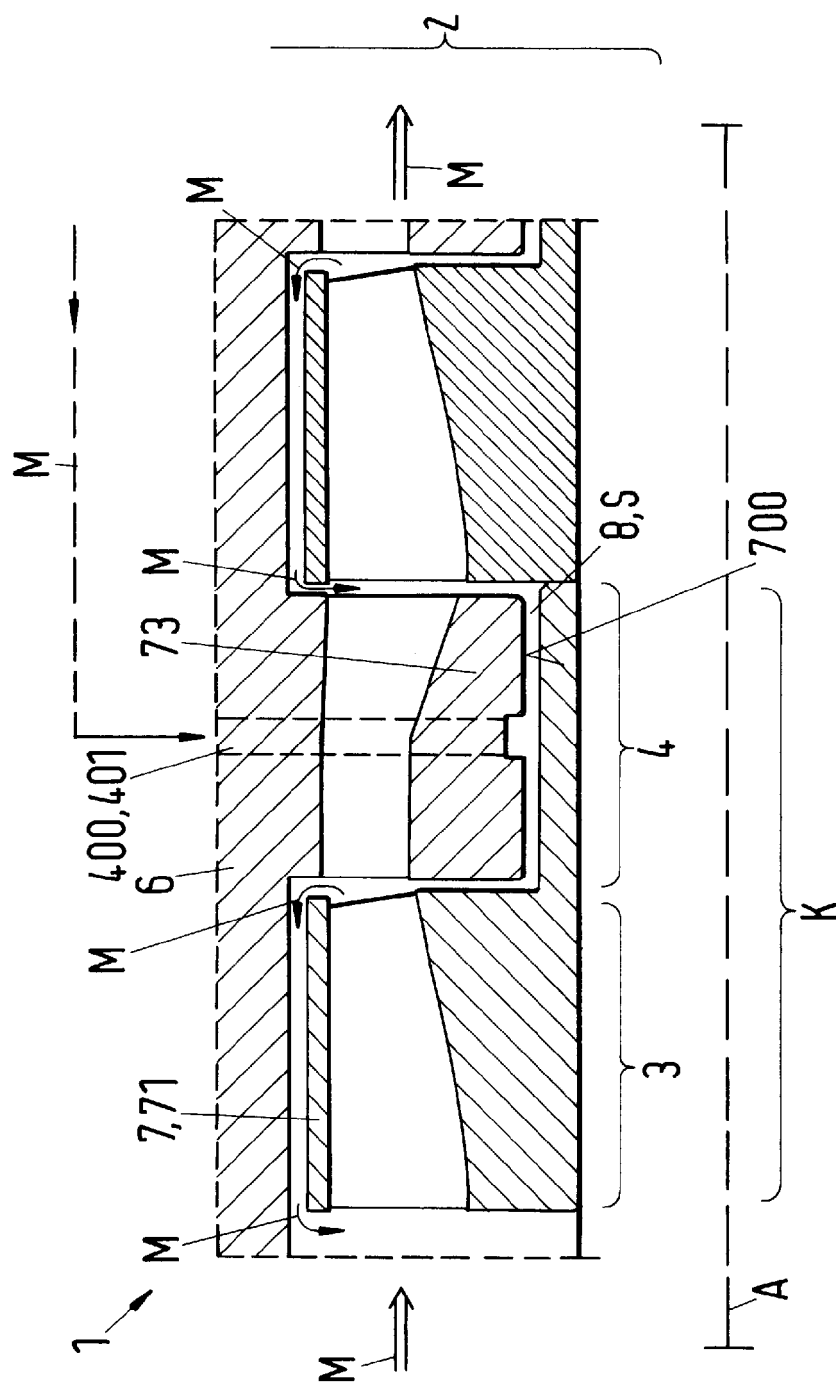
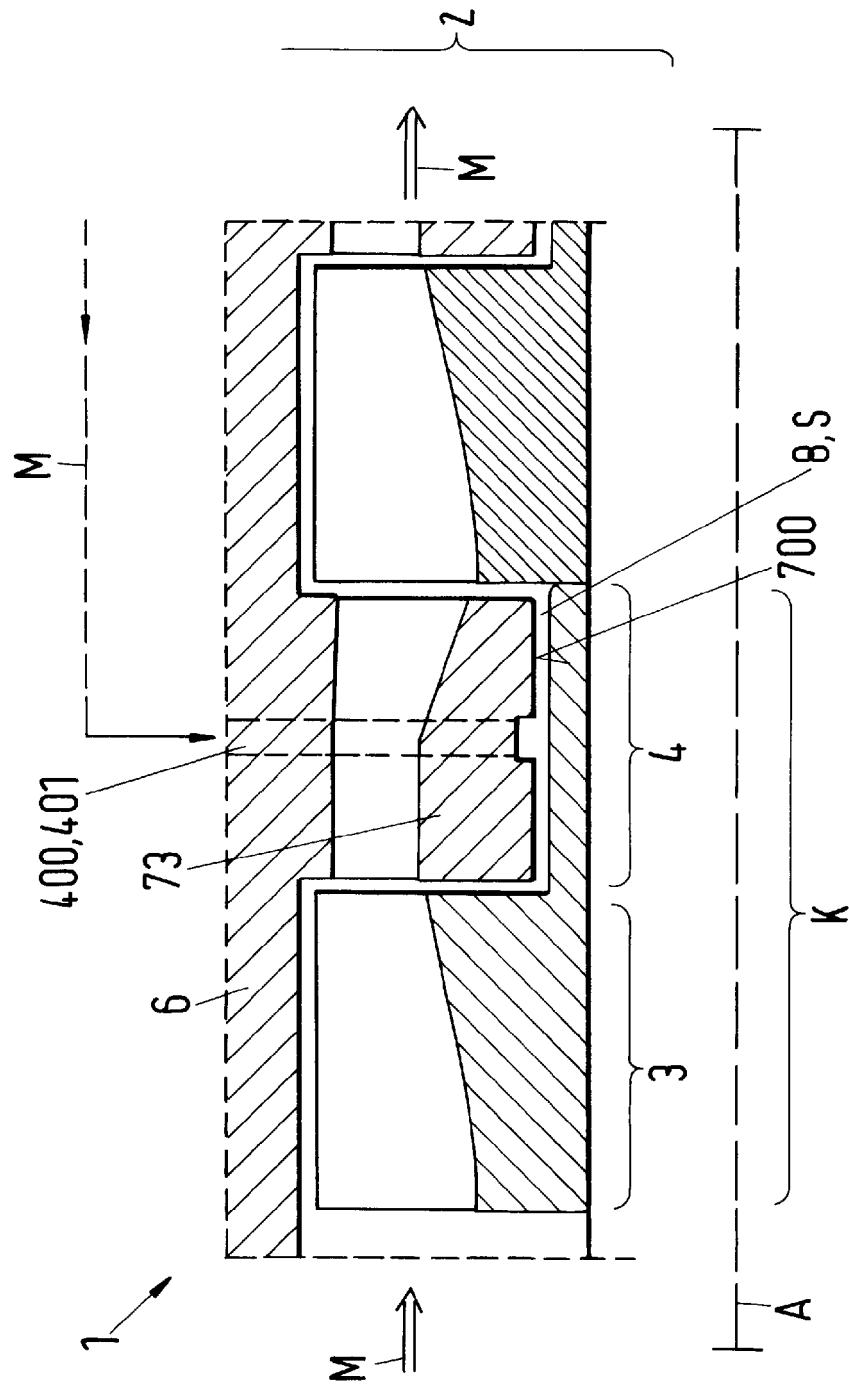


Fig.6a



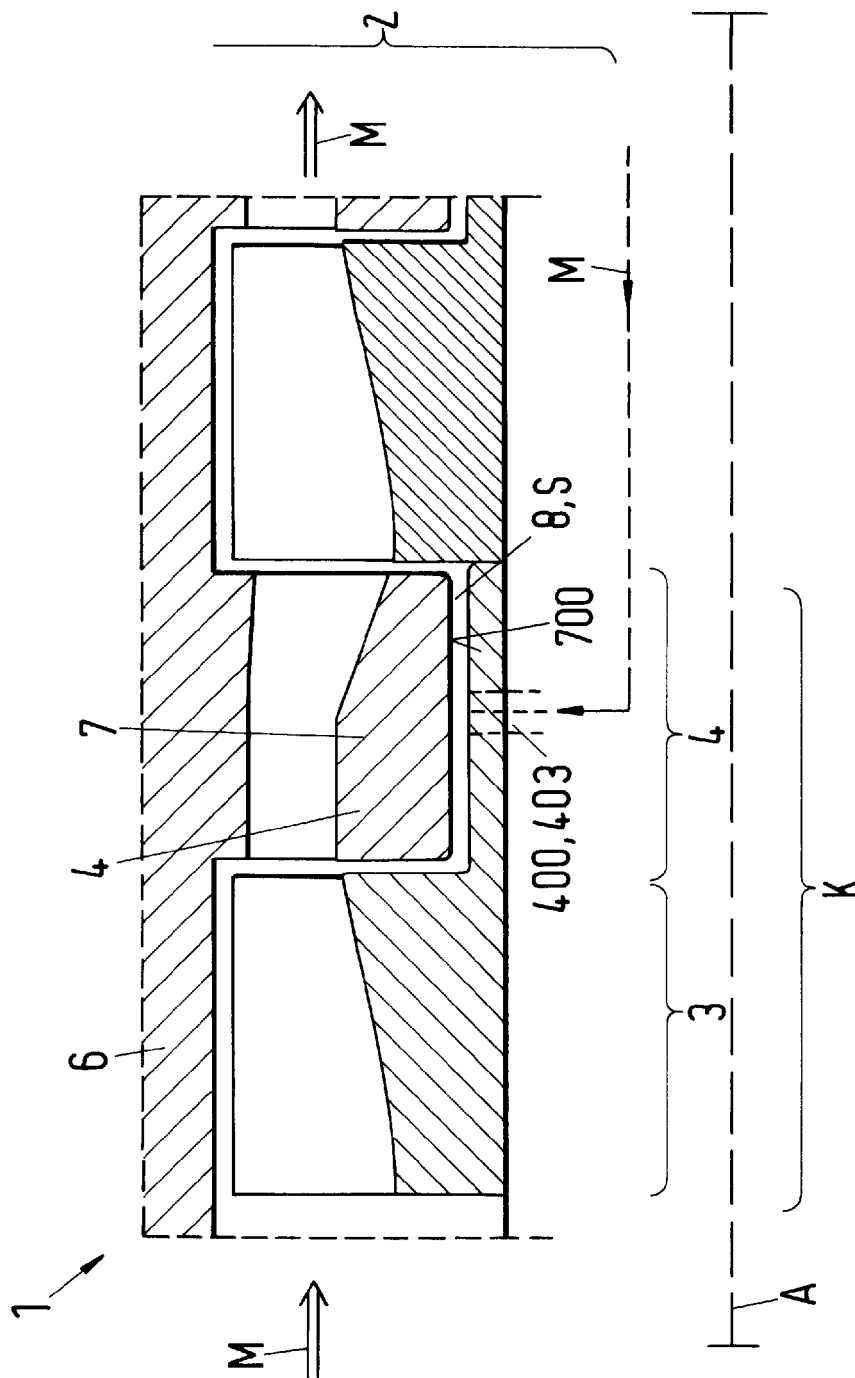


Fig.6c

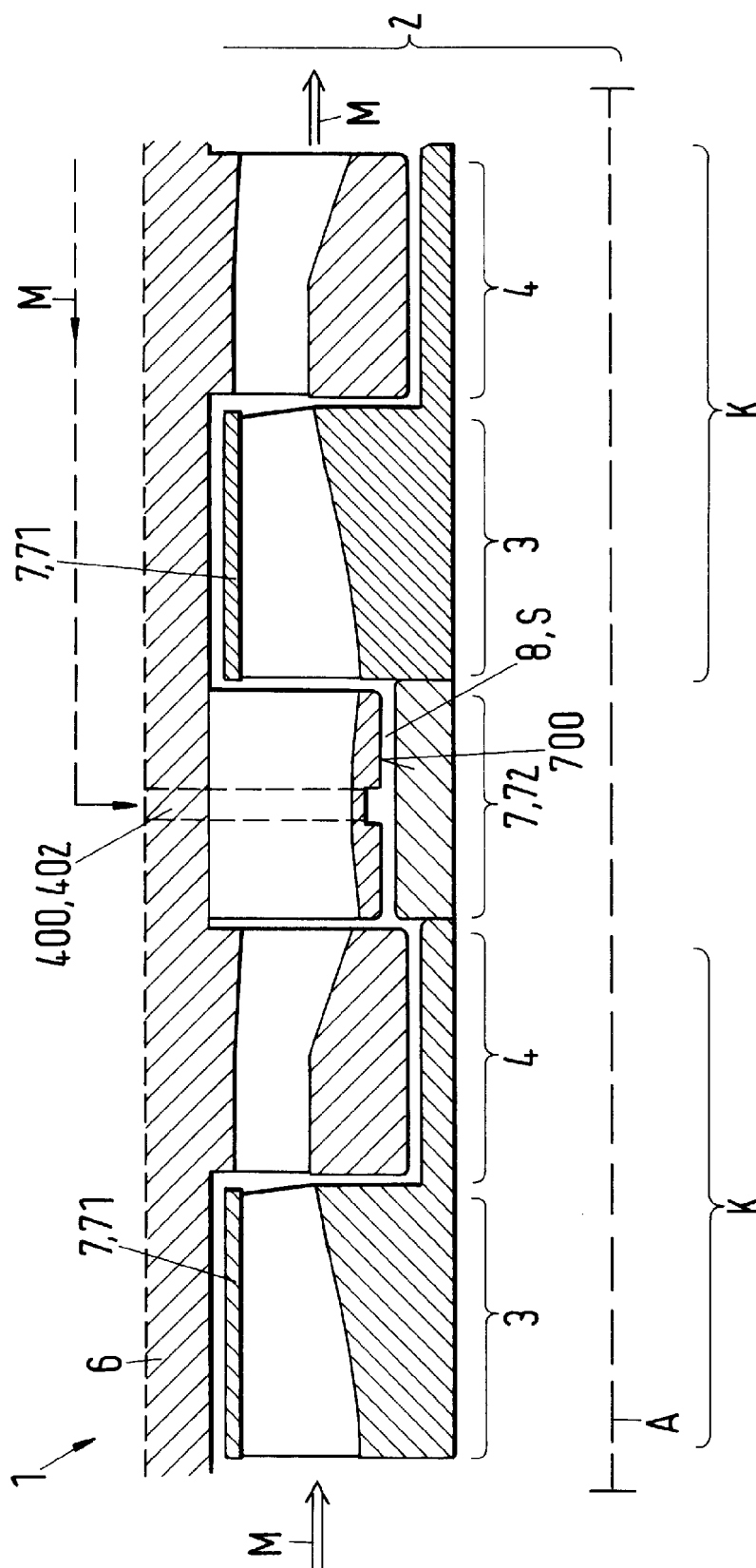


Fig.7a

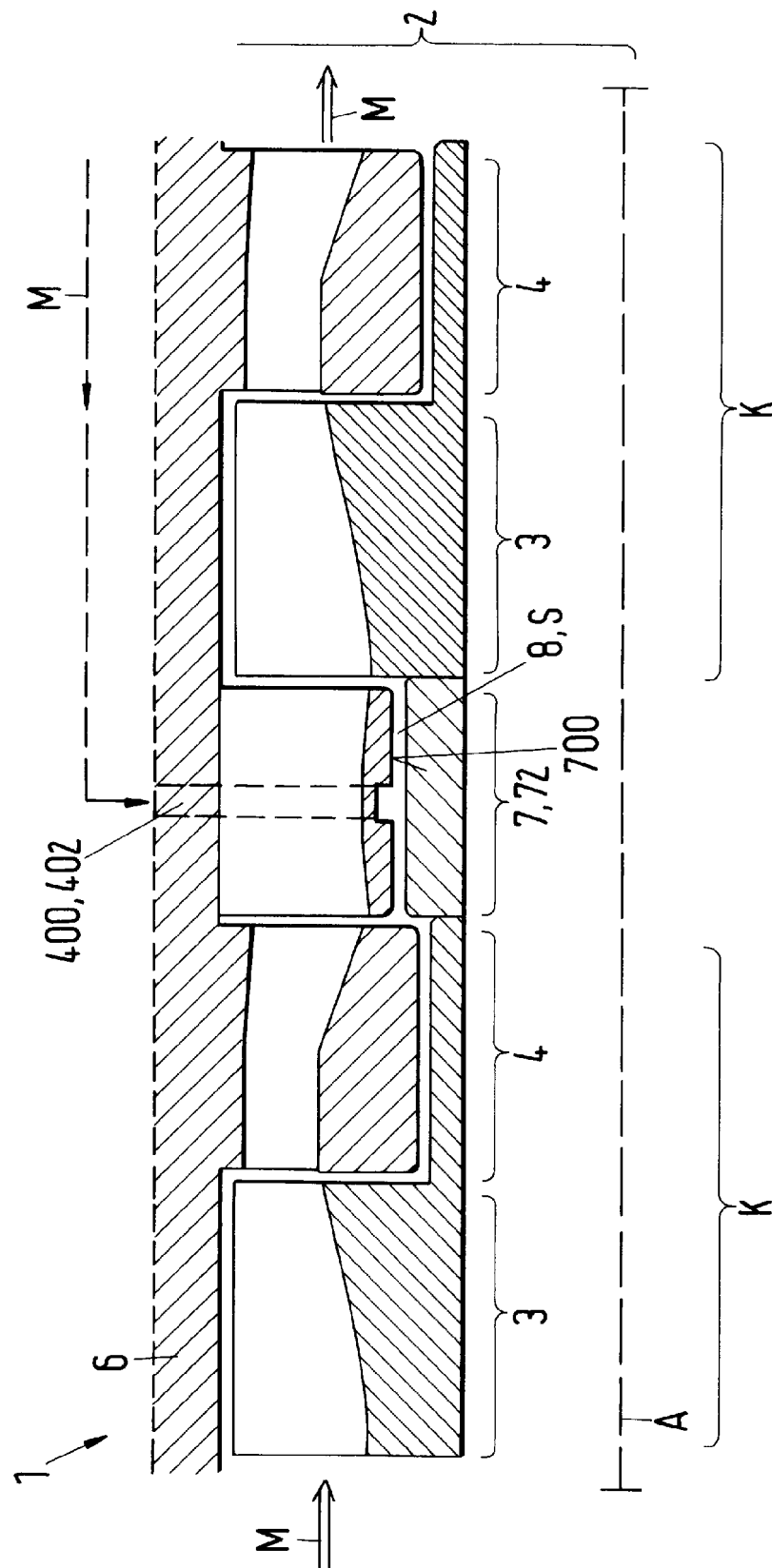


Fig.7b

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- GB 1561454 A [0003]
- EP 0486877 A [0003]
- US 5961282 A [0003] [0004]