

(19)



(11)

EP 2 386 766 A2

(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: **11161757.7**

(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

- **Radcliffe, Christopher David**
Leeds, LS18 5ED (GB)
- **Ruguê, Mônica Alves de Lima**
5507, Mellingen (CH)
- **Welschinger, Thomas**
78315, Radolfzell (DE)

(30) Priorität: **11.05.2010 EP 10162518**

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

(72) Erfinder:
 • **Meuter, Paul**
8472, Seuzach (CH)

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

(54) **Helico-axiale Pumpe, ein Rotor für eine helico-axial Pumpe, Verfahren zur hydrodynamischen Lagerung eines Rotors einer helico-axialen Pumpe, sowie eine Hybridpumpe mit einem Rotor für eine helico-axiale 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) umfasst, wobei der Rotor (2) zur Kompression des Mehrphasengemischs (M) eine Kompressionsstufe (K) mit einem helico-axialen Laufrad (3) und einem Stator (4) umfasst. Erfindungsgemäss ist ein hydrodynamisches Stabilisierungselement (7, 71, 72, 73) mit einer Stabilisierungsfläche (700) derart im Pumpengehäuse

(6) 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), ein Verfahren zur hydrodynamischen Lagerung eines Rotors (2) einer helico-axialen Pumpe (1), sowie eine Hybridpumpe mit einem Rotor (2) für eine helico-axiale Pumpe 1.

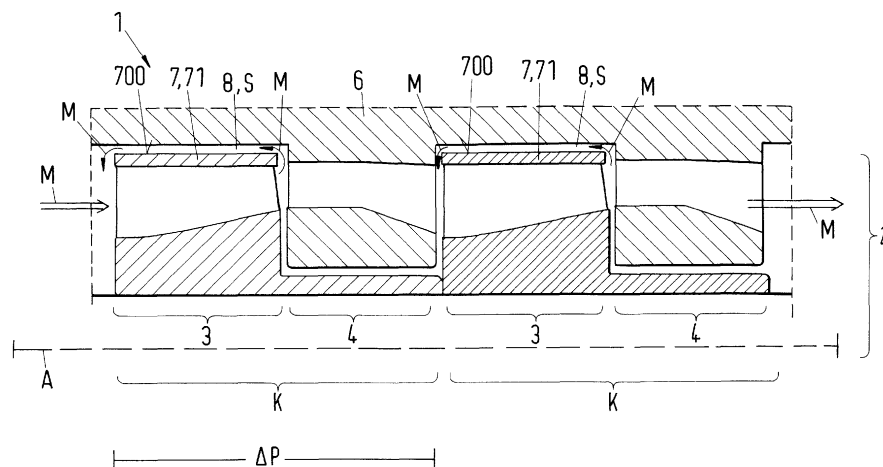


Fig. 2

EP 2 386 766 A2

Beschreibung

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

[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] 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 ein höherer Wirkungsgrad der Pumpe und / oder ein verbesserter Lauf des Rotors im Betriebszustand erreicht wird. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es einen Rotor für eine helico-axiale Pumpe, ein Verfahren zur hydrodynamischen Lagerung eines Rotors einer helico-axialen Pumpe, sowie eine Hybridpumpe mit einem Rotor für eine helico-axiale Pumpe vorzuschlagen, durch welche die aus dem Stand der Technik bekannten Probleme mit den Schwingungen der Rotoren vermieden werden.

[0012] Die diese Aufgabe lösenden Gegenstände der Erfindung sind durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche 1, 11, 14 und 15 gekennzeichnet.

[0013] Die abhängigen Ansprüche beziehen sich auf besonders vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung.

[0014] 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 umfasst, wobei der Rotor zur Kompression des Mehrphasengemischs eine Kompressionsstufe mit einem helico-axialen Laufrad und einem Stator umfasst. Erfindungsgemäss ist ein hydrodynamisches Stabilisierungselement mit einer Stabilisierungsfläche derart im Pumpengehäuse vorgesehen und ausgestaltet, dass vor der Stabilisierungsfläche ein Stabilisierungsspalt ausgebildet ist, so dass im Betriebszustand eine hydrodynamische Stabilisierungsschicht aus einem Stabilisierungsmedium im Stabilisierungsspalt bildbar ist.

[0015] Wesentlich für die Erfindung ist es somit, dass ein hydrodynamisches Stabilisierungselement 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. Zur Ausbildung der hydrodynamischen Stabilisierungsschicht wird besonders bevorzugt ein bereits höher komprimiertes Mehrphasengemisch benutzt, 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. 2 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.

[0016] 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.

[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 dadurch weitgehend vermieden und werden zumindest auf ein vorgegbares 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] 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. Oder aber indem zum Beispiel 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 und sehr flexibel auf unterschiedliche Anforderungen und wechselnde Betriebsbedingungen einstellbar ist.

[0020] 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.

[0021] Durch Verwendung bestimmter Ausführungsvarianten ist es sogar möglich, bestehende Pumpen aus dem Stand der Technik nachzurüsten, so dass, um die Vorteile der Erfindung nutzbar zu machen, nicht die gesamte Pumpe ausgetauscht werden muss. Das ist zum Beispiel dadurch möglich, dass ein erfindungsgemäßer Rotor, zum Beispiel ein Rotor mit einem Deckring am helico-axialen Laufrad, einfach an die Geometrie einer bekannten älteren Pumpe angepasst und in diese im Rahmen einer regulären Wartung eingebaut wird. Das heißt, der ältere Rotor, der die eingangs beschriebenen Probleme mit den schädlichen Schwingungen hat, kann einfach gegen einen Rotor der vorliegenden Erfindung ausgetauscht werden.

[0022] Wie später noch anhand der Zeichnungen exemplarisch an besonders bevorzugten Ausführungsbeispielen erläutert werden wird, kann der Stabilisierungsspalt zum Beispiel zwischen der Stabilisierungsfläche und dem Pumpengehäuse ausgebildet sein und / oder auch zwischen der Stabilisierungsfläche und dem Rotor vorgesehen werden.

[0023] Bei einem für die Praxis besonders wichtigen Ausführungsbeispiel ist das Stabilisierungselement ein Deckring, der das helico-axiale Laufrad in Umfangsrichtung umschließt, so dass der Stabilisierungsspalt zwischen dem Deckring und dem Pumpengehäuse ausgebildet ist. Dabei 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.

[0024] Bei einem anderen wichtigen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist das Stabilisierungselement in Form einer Stabilisierungsbuchse zwischen zwei benachbarten Kompressionsstufen am Rotor vorgesehen ist. Wobei eine Stabilisierungsbuchse 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 Kom-

pressionsstufen, wodurch die Herstellung des Rotors natürlich deutlich weniger aufwändig und kostengünstiger wird.

[0025] Die Stabilisierungsbuchse kann dabei derart ausgestaltet und am Rotor angeordnet sein, dass der Stabilisierungsspalt zwischen der Stabilisierungsbuchse und dem Pumpengehäuse ausgebildet ist, und / oder die Stabilisierungsbuchse kann auch derart ausgestaltet und am Rotor angeordnet sein, dass der Stabilisierungsspalt zwischen der Stabilisierungsbuchse 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.

[0026] Wie bereits oben erwähnt, 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.

[0027] 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.

[0028] 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.

[0029] 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.

[0030] 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 Mehr-

phasengemisch verwendet werden.

[0031] Die Erfindung betrifft weiterhin einen Rotor zur Anordnung in einem Pumpengehäuse einer helico-axialen Pumpe wie im Rahmen dieser Anmeldung beschrieben, wobei der Rotor zur Kompression des Mehrphasengemischs eine Kompressionsstufe mit einem helico-axialen Laufrad und einem Stator umfasst. Erfindungsgemäss ist ein hydrodynamisches Stabilisierungselement mit einer Stabilisierungsfläche derart am Rotor vorgesehen und ausgestaltet, dass im Einbauszustand des Rotors vor der Stabilisierungsfläche ein Stabilisierungsspalt ausgebildet ist, so dass im Betriebszustand eine hydrodynamische Stabilisierungsschicht aus einem Stabilisierungsmedium im Stabilisierungsspalt bildbar ist.

[0032] Besonders bevorzugt ist das Stabilisierungselement ein Deckring, der das helico-axiale Laufrad in Umfangsrichtung umschliesst, so dass der Stabilisierungsspalt zwischen dem Deckring und einem Pumpengehäuse der helico-axialen Pumpe ausgebildet ist, wobei gleichzeitig oder alternativ das Stabilisierungselement auch zum Beispiel als Stabilisierungsbuchse zwischen zwei benachbarten Kompressionsstufen am Rotor vorgesehen sein kann.

[0033] Bei einem speziellen Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemässen Rotors kann auch 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. Zur Zuführung des Stabilisierungsmediums können zum Beispiel am oder im Rotor entsprechende Leitungen vorgesehen werden, oder die Rotorwelle kann zum Beispiel geeignete Bohrungen aufweisen, bzw. zur Leitung und Zuführung des Stabilisierungsmediums ganz oder teilweise als hohle Rotorwelle ausgeführt sein.

[0034] Die Erfindung betrifft weiterhin eine Hybridpumpe mit einem erfindungsgemässen Rotor.

[0035] Ausserdem betrifft die Erfindung auch ein Verfahren zur hydrodynamischen Lagerung eines Rotors 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 ein hydrodynamisches Stabilisierungselement 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.

[0036] Im Folgenden wird die Erfindung an Hand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen in schematischer Darstellung:

Fig. 1 a eine Kompressionsstufe einer aus dem Stand der Technik bekannten helico-axialen Pumpe;

5 Fig. 1 b eine Pumpe gemäss Fig. 1a teilweise im Schnitt;

Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemässen helicoaxialen Pumpe mit Deckring am helico-axialen Laufrad;

10 Fig. 3 ein zweites Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 2 mit Einspritzung am Deckring des helico-axialen Laufrads;

15 Fig. 3a das Ausführungsbeispiel der Fig. 3 mit Einspritzung unter höherem Druck;

20 Fig. 4a ein drittes Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 2 mit Einspritzung am Stator;

Fig. 4b ein anderes Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 4a ohne Deckring am helico-axialen Laufrad;

25 Fig. 4c ein weiteres Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 4b mit Einspritzung aus dem Rotor;

30 Fig. 5a ein viertes Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 2 mit Stabilisierungsbuchse und Einspritzung;

35 Fig. 5b ein anderes Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 5a ohne Deckring am helico-axialen Laufrad.

[0037] 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.

[0038] 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.

[0039] Anhand der Fig. 2 soll ein erstes wichtiges Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemässen helico-axialen Pumpe diskutiert werden, die sich durch einen Deckring am helico-axialen Laufrad auszeichnet.

[0040] Die helico-axiale Pumpe 1 zur Förderung eines Mehrphasengemischs M, umfasst einen in einem Pumpengehäuse 6 um eine Längsachse A drehbar gelagerten Rotor 2. Der Rotor 2 umfasst dabei zur Kompression des Mehrphasengemischs M in an sich bekannter Weise eine Kompressionsstufe K mit einem helico-axialen Lauf-

rad 3 und einem Stator 4. Gemäss der vorliegenden Erfindung ist dabei 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 eine hydrodynamische Stabilisierungsschicht S aus dem Mehrphasengemisch M im Stabilisierungsspalt 8 ausgebildet wird.

[0041] Im vorliegenden Beispiel der Fig. 2 ist das 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.

[0042] Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind dabei in allen 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 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.

[0043] Beim Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 2 wird die Stabilisierungsschicht S aus dem Stabilisierungsmedium im Stabilisierungsspalt 8 dadurch gebildet, dass Mehrphasengemisch M wie durch den Doppelpfeil M symbolisch gezeigt, darstellungsgemäss von links der darstellungsgemäss linken Kompressionsstufe K zugeführt, von dieser in an sich bekannter Weise komprimiert, was selbstverständlich mit einer entsprechenden Druckerhöhung einhergeht, die sich auch als Druckdifferenz ΔP über das helico-axiale Laufrad 3 Kompressionsstufe K etabliert.

[0044] 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 gedämpft werden und der Lauf des Rotors stabilisiert wird.

[0045] 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 einen bestimmten vorgebbaren Bereich des Umfangs des helico-axialen Laufrads 3.

[0046] Anhand der Fig. 3 ist ein zweites Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 2 schematisch dargestellt, das sich von dem der Fig. 2 dadurch unterscheidet, dass eine Einspritzung des Stabilisierungsmediums am Deckring 71 des helico-axialen Laufrads 3 vorgesehen ist. Hier wird zusätzlich Stabilisierungsmedium 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. 2 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 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.

[0047] Das Ausführungsbeispiel der Fig. 3a unterscheidet sich dabei von demjenigen der Fig. 3 nur dadurch, dass die Einspritzung des Stabilisierungsmediums am Deckring 71 des helico-axialen Laufrads 3 unter einem deutlich höheren Druck erfolgt, als beim Beispiel der Fig. 3. Das ist deutlich daran zu erkennen, dass das Stabilisierungsmedium bei Fig. 3a 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.

[0048] Dagegen ist beim Beispiel der Fig. 3 der Druck mit dem das Stabilisierungsmedium 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 bei Fig. 3 darstellungsgemäss von rechts, also von einer Kompressionsstufe mit einem höheren Druckniveau in den Stabilisierungsspalt 8 eintreten kann.

[0049] Das Stabilisierungsmedium 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.

[0050] Anhand der schematischen Fig. 4a wird ein drittes Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 2 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. 4a dargestellt, durch das Pumpengehäuse 6 bis zum Stabilisierungsspalt 8 erstreckt, so dass zwi-

schen dem Rotor 2 und der Stabilisierungsfläche 700 des als Stabilisierungselement 73 ausgebildeten Stators 4 eine erfindungsgemässe Stabilisierungsschicht S aus Stabilisierungsmedium, das im speziellen Beispiel der Fig. 4a Mehrphasengemisch M von einer anderen Kompressionsstufe ist, ausgebildet werden kann.

[0051] In Fig. 4b ist ein anderes Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 4a dargestellt, das sich von dem der Fig. 4a 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.

[0052] Fig. 4c zeigt eine weitere Variante des Ausführungsbeispiels gemäss Fig. 4b. Hier erfolgt die Zuführung des Stabilisierungsmediums nicht über einen Zuführkanal 400, 401 durch das Pumpengehäuse 6, sondern die Einspritzung des Stabilisierungsmediums 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, zum Beispiel Mehrphasengemisch M aus einer Kompressionsstufe K mit einem höheren Druckniveau zuführbar ist.

[0053] Die Fig. 5a zeigt dagegen ein viertes, anderes Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 2, bei welchem zwischen zwei benachbarten Kompressionsstufen K eine zusätzliche Stabilisierungsbuchse 72 vorgesehen ist, wobei Einspritzung des Stabilisierungsmediums 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. 4c durch die Rotorwelle des Rotors 2 erfolgen. Ausserdem ist es wie schematisch in Fig. 5b gezeigt natürlich auch möglich, dass an allen oder verschiedenen helico-axialen Laufrädern 3 auf den Deckring verzichtet werden kann.

[0054] Dabei ist es in speziellen Fällen selbstverständlich auch möglich, dass alternativ oder zusätzlich zu der Stabilisierungsbuchse 72 zwischen jeweils zwei benachbarten Kompressionsstufen K, eine Stabilisierungsbuchse 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 Stabilisierungsbuchse 72 vorgesehen sein muss.

[0055] 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 Mehrphasengemischs (M), welche helico-axiale Pumpe einen in einem Pumpengehäuse (6) um eine Längsachse (A) drehbar gelagerten Rotor (2) umfasst, wobei 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** ein hydrodynamisches Stabilisierungselement (7, 71, 72, 73) mit einer Stabilisierungsfläche (700) derart im Pumpengehäuse (6) 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 Stabilisierungsspalt (8) zwischen der Stabilisierungsfläche (700) und dem Pumpengehäuse (6) ausgebildet ist und / oder wobei der Stabilisierungsspalt (8) zwischen der Stabilisierungsfläche (700) und dem Rotor (2) ausgebildet ist.
3. Helico-axiale Pumpe nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei das 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.
4. Helico-axiale Pumpe nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Stabilisierungselement (7, 71, 72, 73) als Stabilisierungsbuchse (72) zwischen zwei benachbarten Kompressionsstufen (K) am Rotor (2) vorgesehen ist.
5. Helico-axiale Pumpe nach Anspruch 4, wobei die Stabilisierungsbuchse (72) derart ausgestaltet und am Rotor (2) angeordnet ist, dass der Stabilisierungsspalt (8) zwischen der Stabilisierungsbuchse (72) und dem Pumpengehäuse (6) ausgebildet ist, und / oder wobei die Stabilisierungsbuchse (72) derart ausgestaltet und am Rotor (2) angeordnet ist, dass der Stabilisierungsspalt (8) zwischen der Stabilisierungsbuchse (72) und dem Rotor (2) 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, 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 vorangehenden Ansprüche, 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 hydrodynamische Stabilisierungsschicht (S) im Stabilisierungsspalt (8) eine vorgebbare Menge an Stabilisierungsmedium durch den Zuführkanal (401) dem Stabilisierungsspalt (8) zuführbar ist. 5
8. Helico-axiale Pumpe nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei am Pumpengehäuse ein Zuführkanal (402) derart angeordnet und ausgebildet ist, dass zur Ausbildung der hydrodynamische Stabilisierungsschicht (S) im Stabilisierungsspalt (8) eine vorgebbare Menge an Stabilisierungsmedium durch den Zuführkanal (402) dem Stabilisierungsspalt (8) zuführbar ist. 10
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 hydrodynamische Stabilisierungsschicht (S) im Stabilisierungsspalt (8) eine vorgebbare Menge an Stabilisierungsmedium durch den Zuführkanal (403) dem Stabilisierungsspalt (8) zuführbar ist. 15
10. Helico-axiale Pumpe nach einem der Ansprüche 6 bis 9, wobei dem Zuführkanal (400, 401, 402, 403) das Stabilisierungsmedium von einer Kompressionsstufe (K) zugeführt wird, an der ein höheres Druckniveau herrscht. 20
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 Rotor zur Kompression des Mehrphasengemischs (M) eine Kompressionsstufe (K) mit einem helico-axialen Laufrad (3) und einem Stator (4) umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein hydrodynamisches Stabilisierungselement (7, 71, 72, 73) mit einer Stabilisierungsfläche (700) derart am Rotor vorgesehen und ausgestaltet ist, dass im Einbauzustand des Rotors 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. 25
12. Rotor nach Anspruch 11, wobei das Stabilisierungselement (7, 71, 72, 73) ein Deckring (71) ist, der das helico-axiale Laufrad (3) in Umfangsrichtung um-

schliesst, so dass der Stabilisierungsspalt (8) zwischen dem Deckring (71) und einem Pumpengehäuse (6) der helico-axialen Pumpe (1) ausgebildet ist, und / oder wobei das Stabilisierungselement (7, 71, 72, 73) als Stabilisierungsbuchse (72) zwischen zwei benachbarten Kompressionsstufen (K) am Rotor (2) vorgesehen 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, insbesondere Mehrphasengemisch (M) durch den Zuführkanal (400, 401, 402, 403) dem Stabilisierungsspalt (8) zuführbar ist. 30
14. Hybridpumpe mit einem Rotor nach einem der Ansprüche 11 bis 14 für eine helico-axiale Pumpe (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10 zur Förderung eines Mehrphasengemischs (M). 35
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** ein hydrodynamisches Stabilisierungselement (7, 71, 72, 73) 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 im Stabilisierungsspalt (8) zur hydrodynamischen Lagerung des Rotors (2) gebildet wird. 40

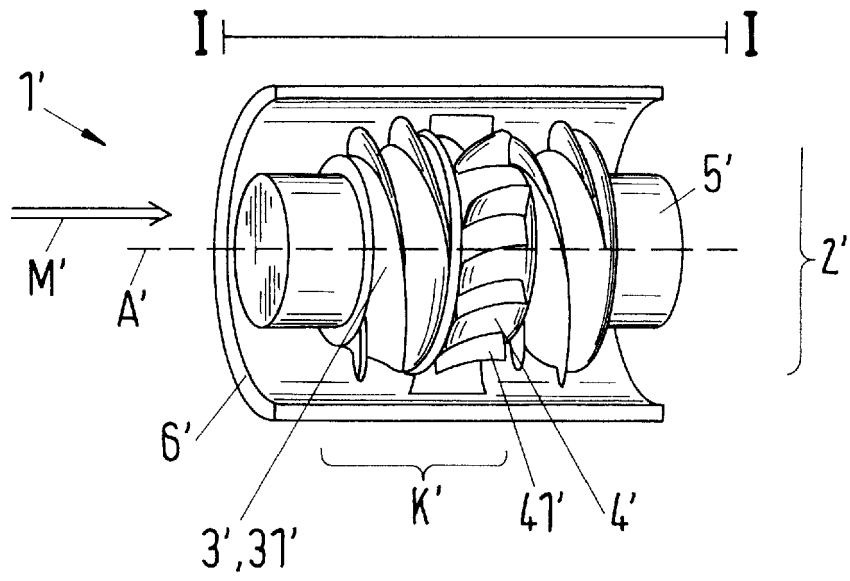


Fig.1a

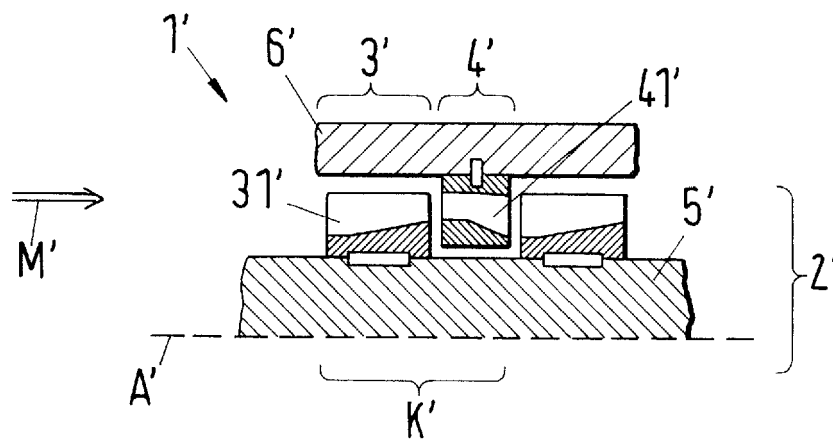


Fig.1b

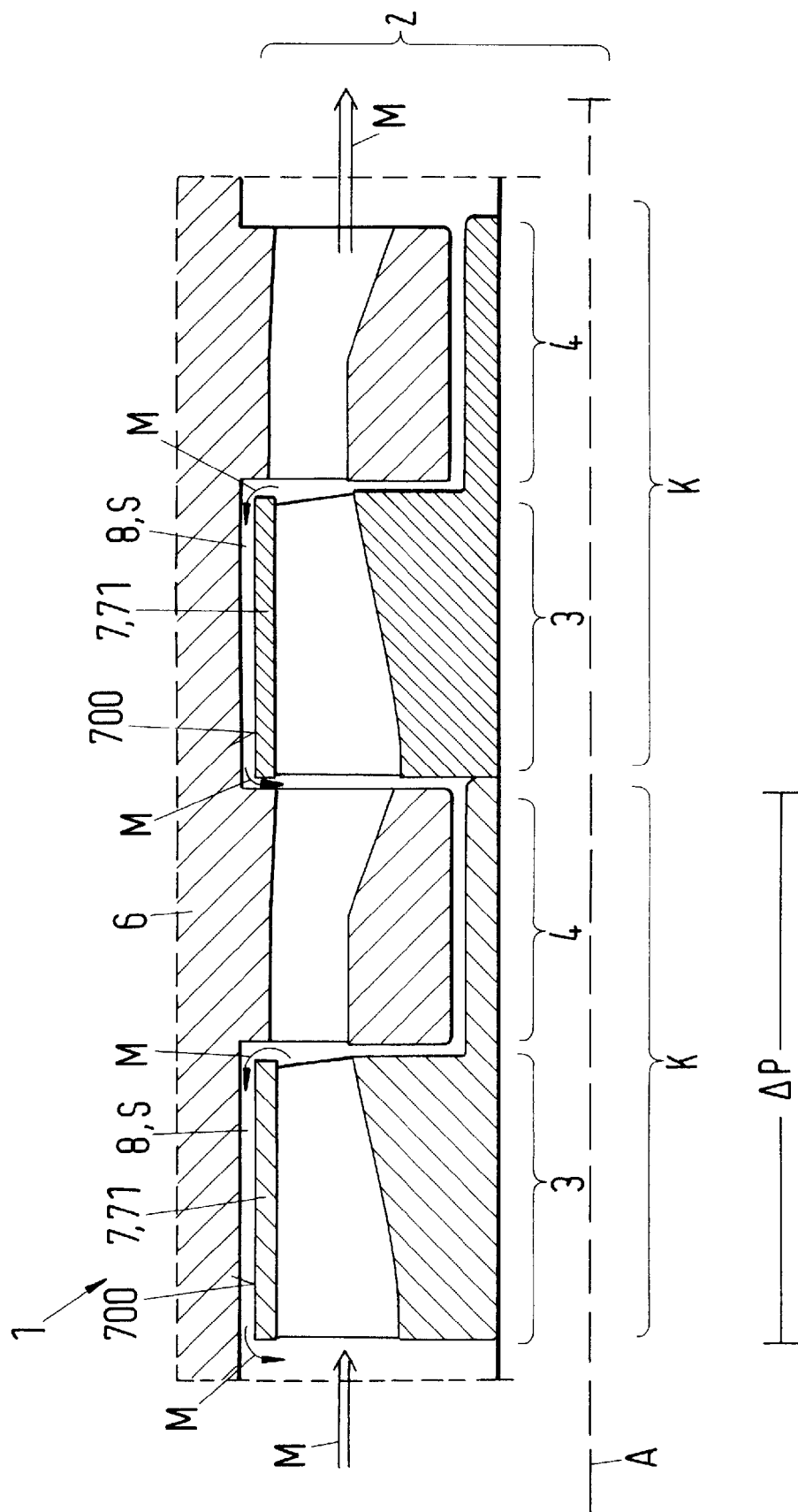


Fig.2

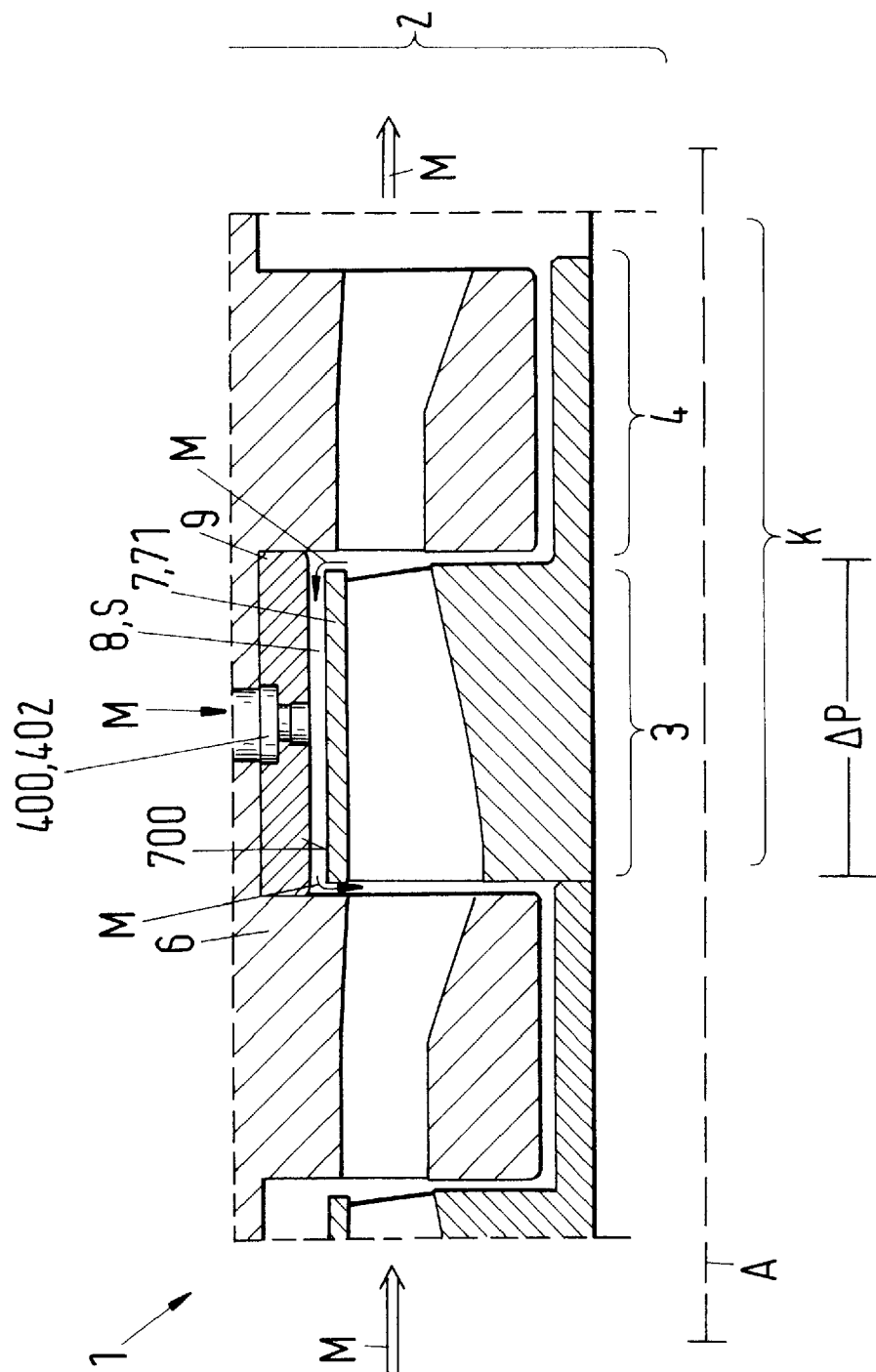


Fig. 3

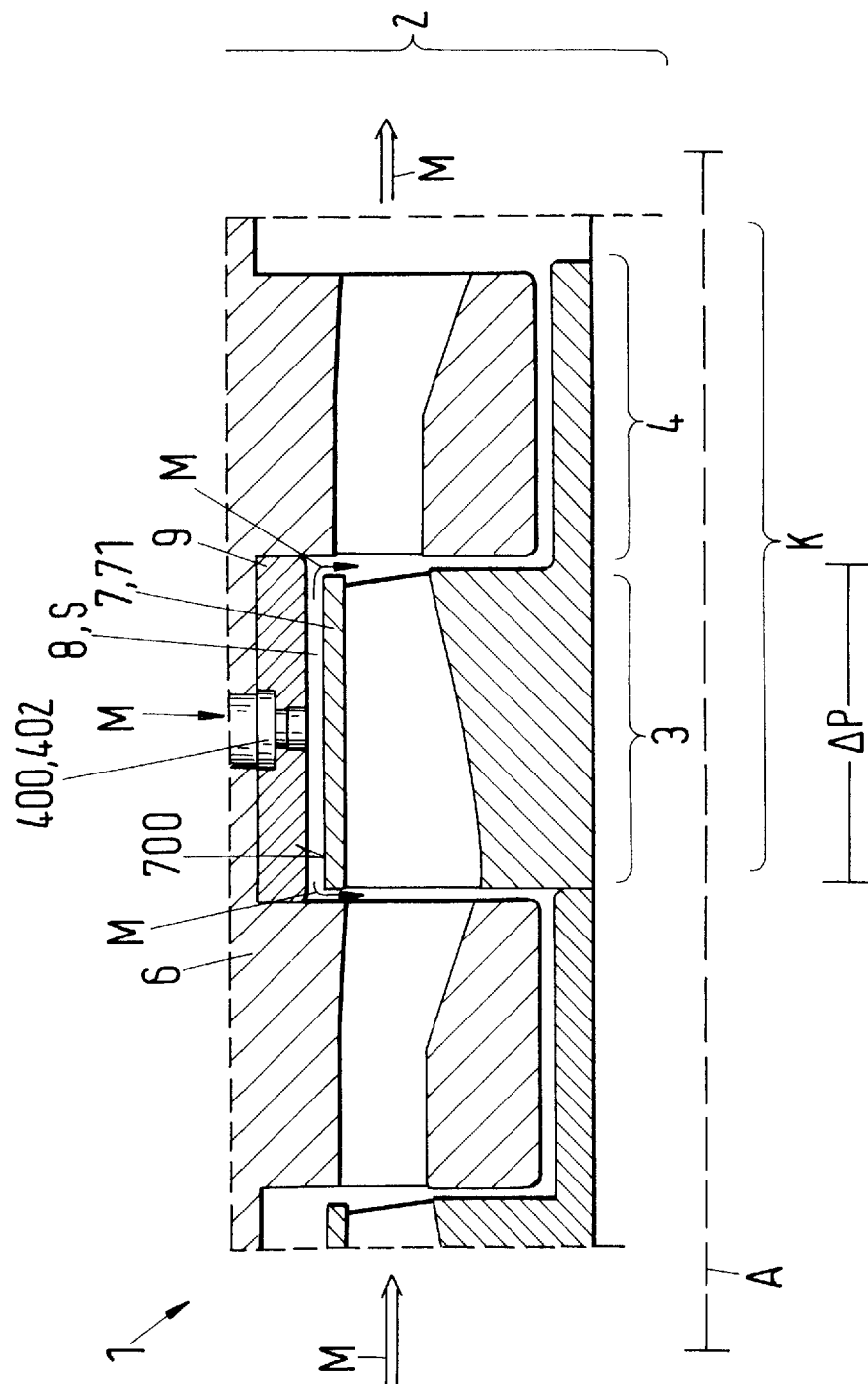


Fig. 3a

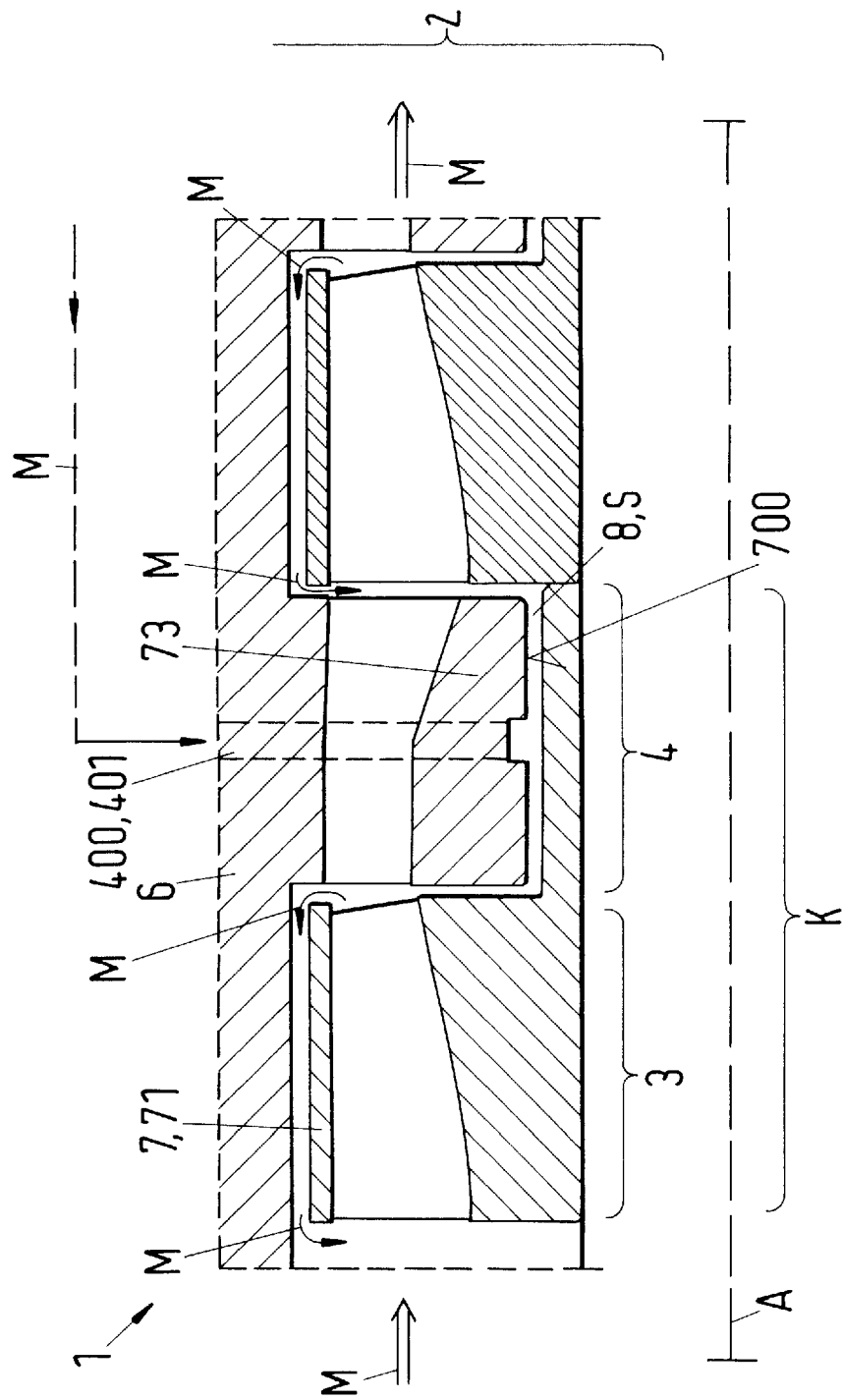
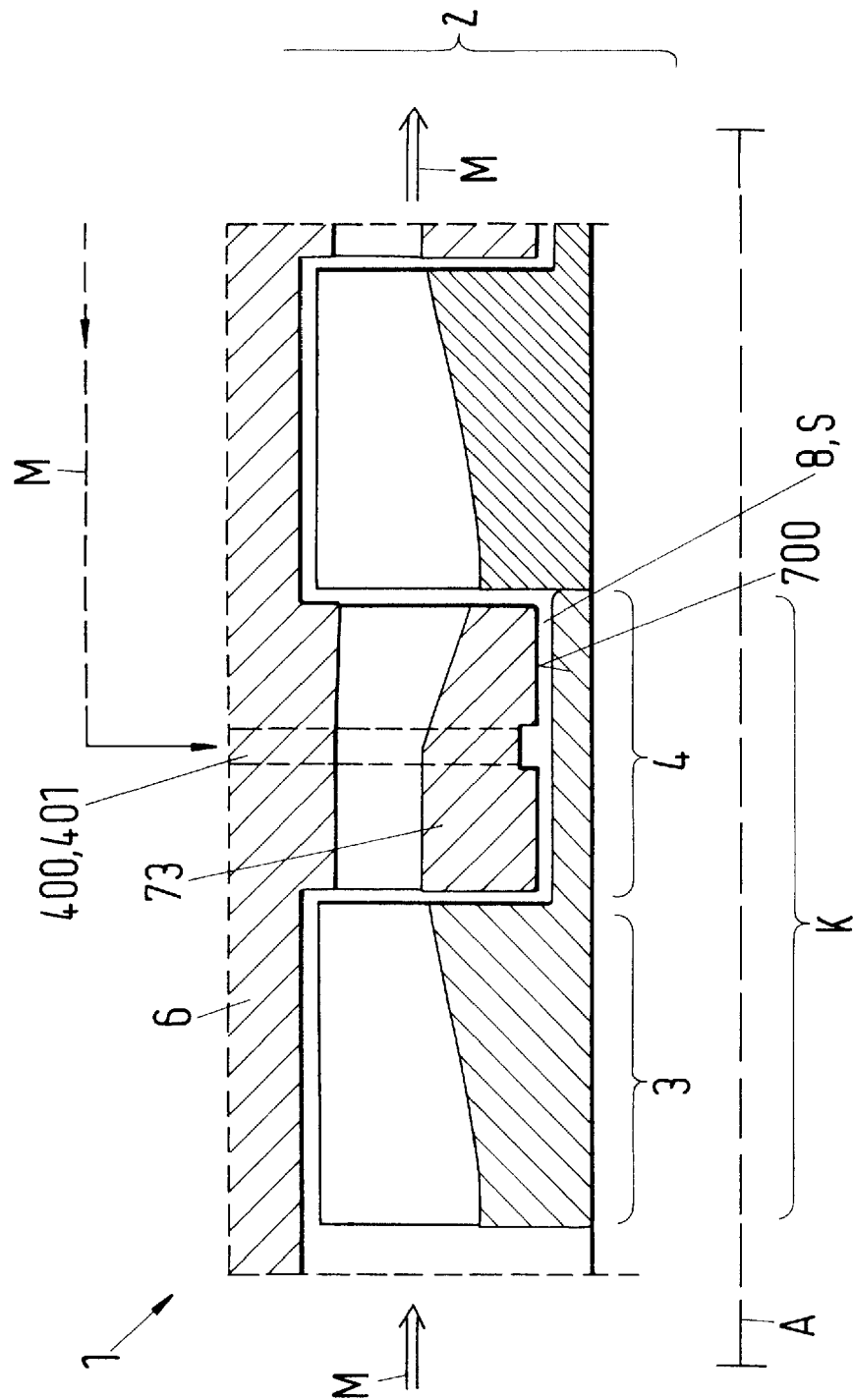
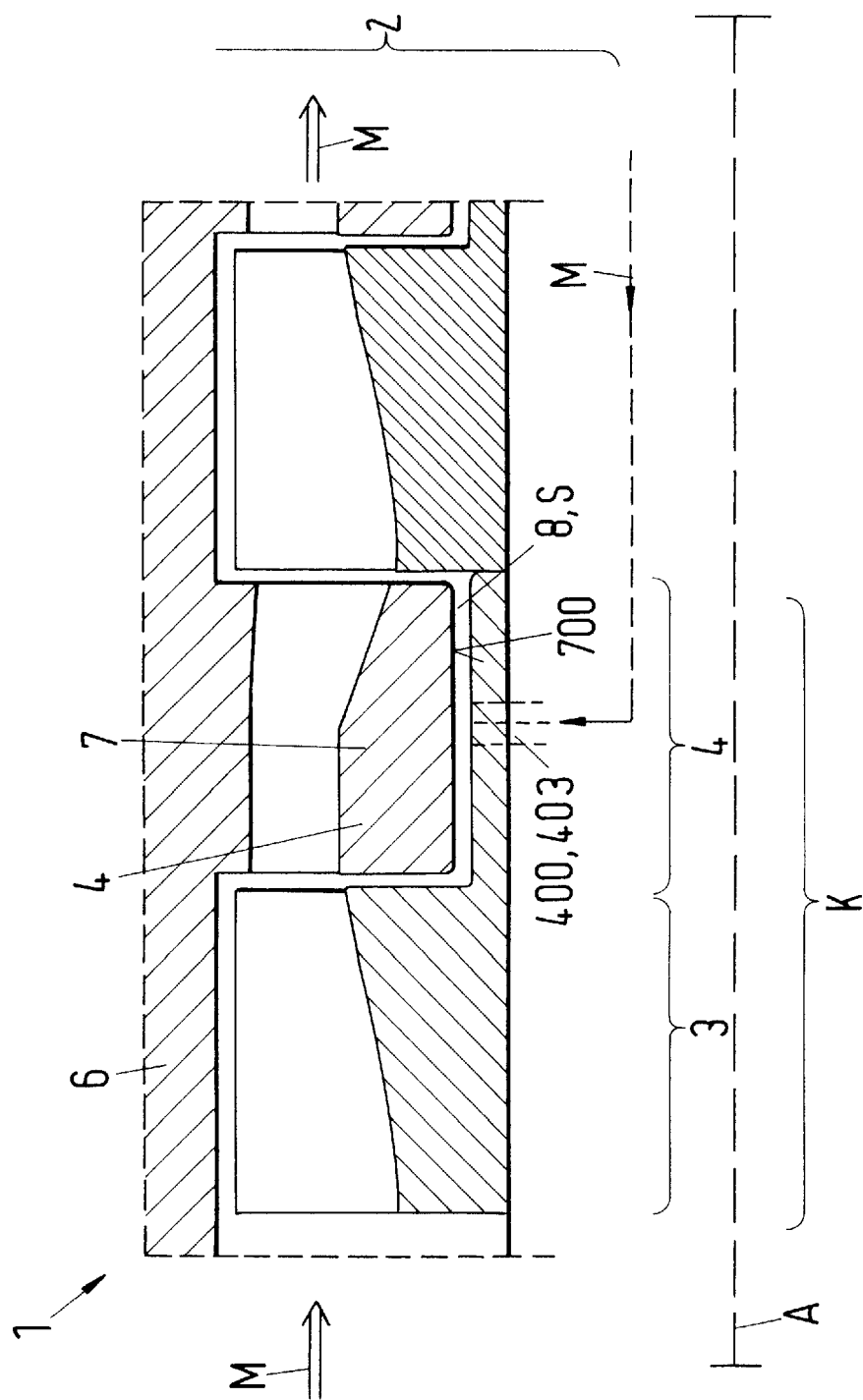


Fig. 4a





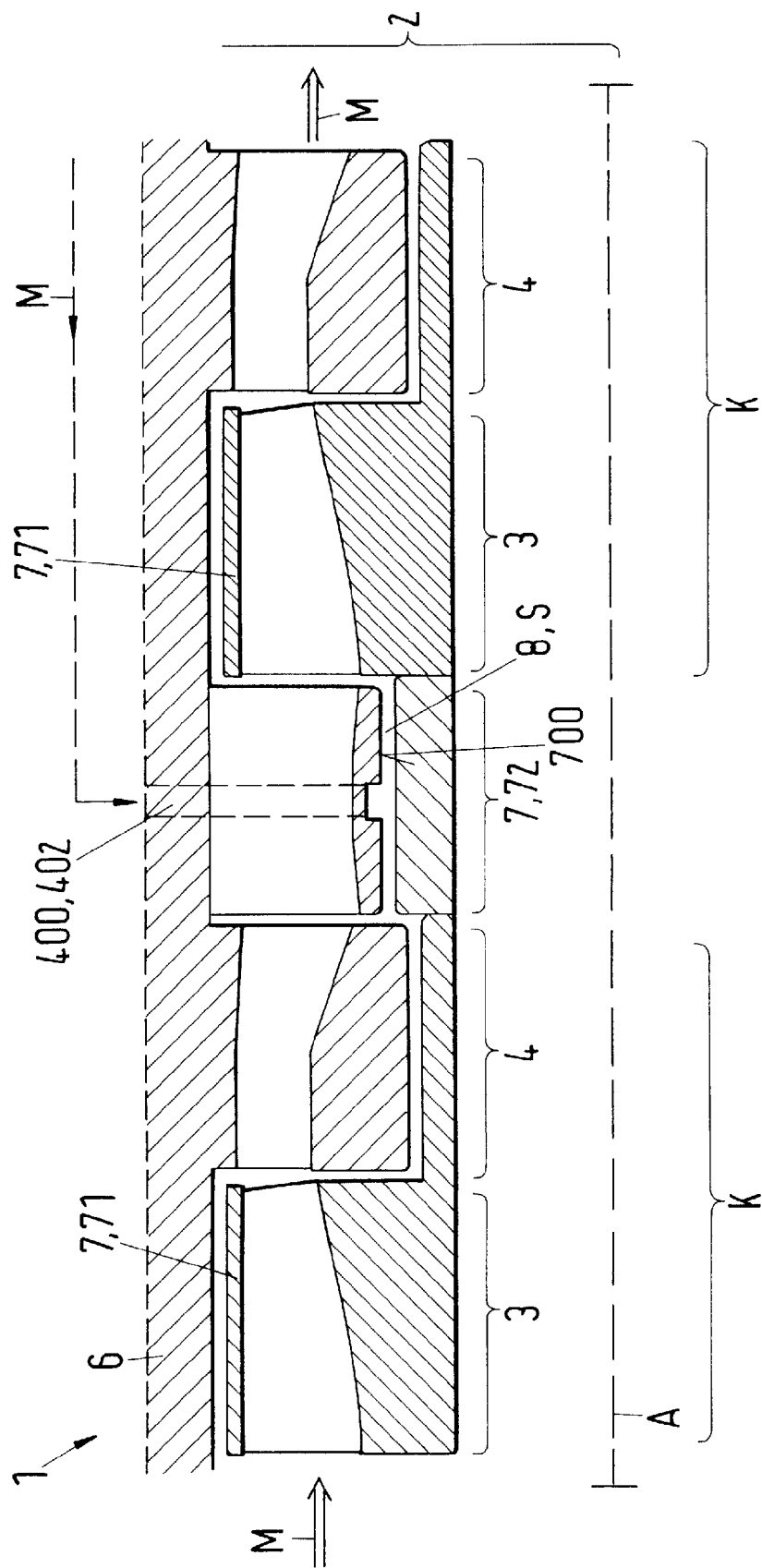


Fig. 5a

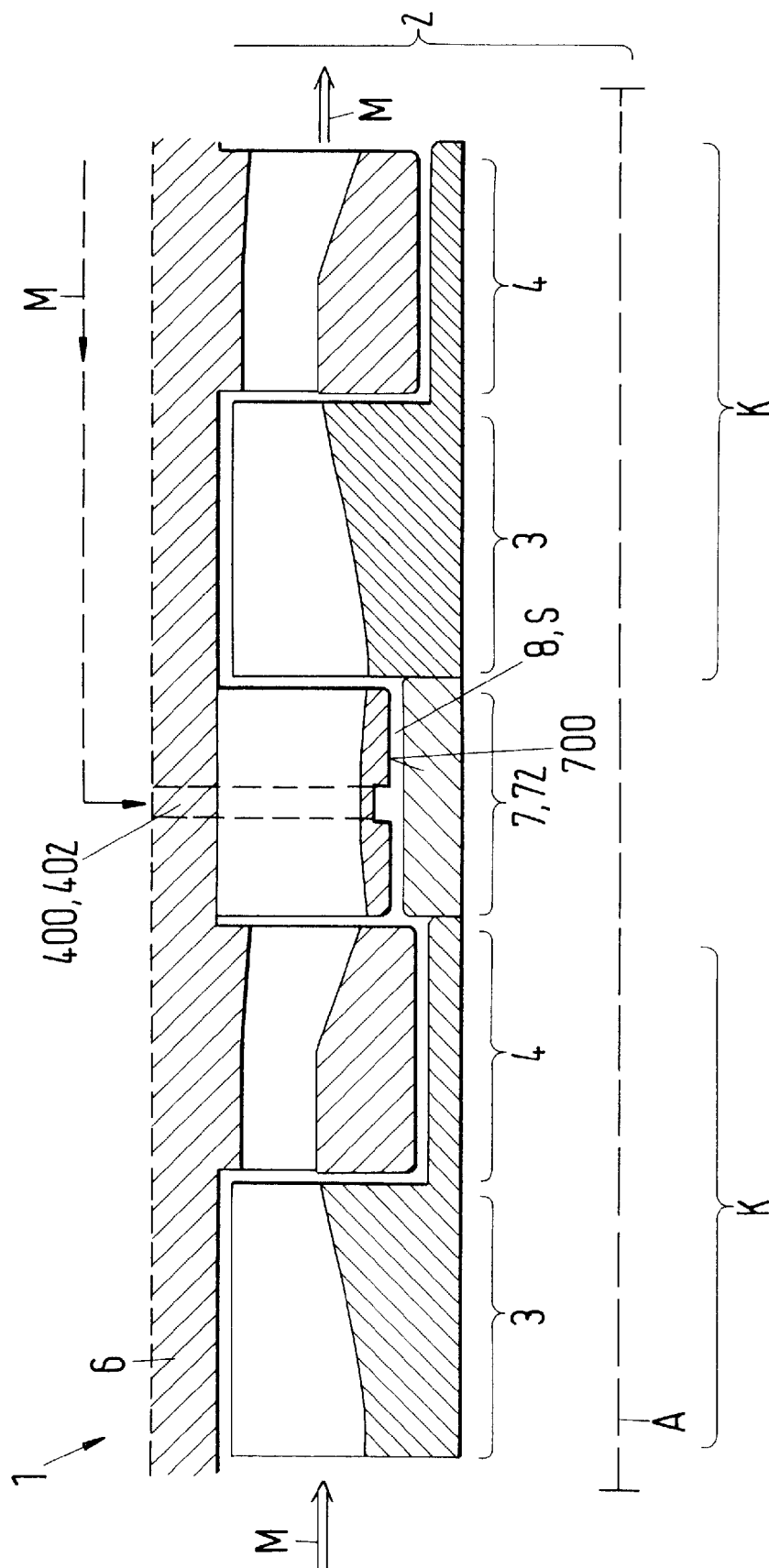


Fig. 5b

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]