



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 01 109 T2 2005.09.15**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 270 953 B1**

(51) Int Cl.7: **F04D 29/68**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 01 109.4**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 013 334.4**

(96) Europäischer Anmeldetag: **18.06.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **02.01.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **01.09.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **15.09.2005**

(30) Unionspriorität:

**2001197663 29.06.2001 JP**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB**

(73) Patentinhaber:

**Hitachi, Ltd., Tokio/Tokyo, JP; Kurokawa, Junichi,  
Yokohama, Kanagawa, JP**

(72) Erfinder:

**Irie, Kouichi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8220, JP;  
Okamura, Tomoyoshi, Chiyoda-ku, Tokyo  
100-8220, JP; Anzai, Yoshio, Chiyoda-ku, Tokyo  
100-8220, JP; Kurokawa, Junichi, Yokohama-shi,  
Kanagawa-ken 235-0023, JP**

(74) Vertreter:

**v. Fünér Ebbinghaus Finck Hano, 81541 München**

(54) Bezeichnung: **Axial durchströmte Hydraulikmaschine**

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

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

## Beschreibung

### Hintergrund der Erfindung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine axialdurchströmte Hydraulikmaschine, die die Merkmale der Oberbegriffe von Patentanspruch 1 bzw. 3 aufweist.

**[0002]** Rotationsmaschinen, die Turbomaschinen genannt werden, können entsprechend dem Fluid klassifiziert werden, das darin behandelt wird, und entsprechend ihrem Typ:

#### 1. Behandeltes Fluid

Flüssigkeit und Gas.

#### 2. Typen

Axialdurchströmungs-, Diagonaldurchströmungs- und Zentrifugaltypen.

**[0003]** Eine Pumpe, die gegenwärtig hauptsächlich verwendet wird, umfasst einen Einlauftrichter Aufwerfung, ein Gehäuse, eine Pumpe und einen Diffusor usw.

**[0004]** Ein Laufrad, das in dem Pumpengehäuse dreht, wird durch seine Rotationswelle in Drehung versetzt, wodurch Energie auf eine Flüssigkeit übertragen wird, die aus einem Ansauggehäuse angesaugt wird. Der Diffusor hat die Funktion, einen Teil der Bewegungsenergie des Fluids in statischen Druck umzuwandeln.

**[0005]** [Fig. 12](#) zeigt eine Kennlinie zwischen Druckhöhe und Durchsatz (d. h. eine Druckhöhen-Durchsatz-Kennlinie), die typisch für eine Turbomaschine ist, wie sie in [Fig. 2](#) gezeigt ist, und bei der die Horizontalachse ein Parameter ist, der den Durchsatz angibt, während die vertikale Achse die Druckhöhe angibt. Wie in [Fig. 12](#) gezeigt, sinkt in einem Bereich mit niedrigem Durchsatz die Druckhöhe, wenn der Durchsatz steigt, in einem Bereich S dagegen zeigt sie eine so genannte „Rechtsanstiegs-Eigenschaft“ (d. h. die Eigenschaft, dass sie an der rechten Seite ansteigt), wobei die Druckhöhe proportional zu einem Anstieg des Durchsatzes steigt. Weiterhin sinkt die Druckhöhe nach dem Bereich mit der Rechtsanstiegs-Eigenschaft wieder, während der Durchsatz ansteigt.

**[0006]** Wenn die Turbomaschine mit einem Durchsatz betrieben wird, der innerhalb des Rechtsanstiegs-Eigenschafts-Bereichs S liegt, erzeugt die Masse der Flüssigkeit das so genannte Pump-Phänomen, wo sie oszilliert oder vibriert, wenn sie aus Zufuhrleitungen ausströmt. Eine Rezirkulationsströmung wird an einem Außenumfang des Laufradeinlasses erzeugt, wenn der Durchsatz der Flüssigkeit,

die durch die Turbomaschine strömt, sinkt, jedoch wird in der Flüssigkeit ein Wirbel erzeugt, indem der Strömungskanal für die Flüssigkeit, die in die Laufradschaufeln oder Leitschaufeln eintritt, verengt wird. Deshalb wird die Rechtsanstiegs-Eigenschaft verursacht (s. [Fig. 2](#)). Das Pumpen beschädigt nicht nur die Turbomaschine, sondern auch die Rohre, die stromaufwärts und stromabwärts angeschlossen sind. Deshalb wird ein stabiler Betrieb der Turbomaschine im Bereich des niedrigen Durchsatzes behindert. Auch zum Vergrößern des Betriebsbereichs der Turbomaschine sind verschiedene Verfahren vorgeschlagen worden, um das Pumpen zu unterdrücken, wie unten beschrieben, abgesehen von Verbesserungen des Profils der Laufradschaufel:

#### 1. Behandlung des Gehäuses

**[0007]** Dies dient der Verbesserung der Strömungsabrissgrenze, indem dünne Nuten mit 10 bis 20% der Länge der Profildicke der Laufradschaufel ausgebildet werden. Die Nuten sind an der Gehäuseinnenwand innerhalb des Bereichs, in dem die Laufradschaufeln liegen, in einer axialen Richtung, in Umfangsrichtung (d. h. an deren Umfang) oder in einer schrägen Richtung ausgebildet, während sie radial oder schräg ausgerichtet sind.

#### 2. Separator

**[0008]** Dies dient dazu, eine Vergrößerung der Rezirkulationsströmung zu verhindern. Ein Separator wird angeordnet, um einen rückwärts strömenden Teil der Rezirkulationsströmung von dessen stromabwärtigem Teil zu trennen, der an einem äußeren Rand des Laufradschaufeleinlasses innerhalb des Niedrigdurchsatzbereichs erzeugt wird.

**[0009]** Beispiele für Separatoren, die bei einer axialdurchströmten Hydraulikmaschine (einer der Turbomaschinen) Anwendung finden, sind ein Ansaugungsverfahren, ein Schaufelseparatorverfahren und ein Luftseparatorverfahren.

**[0010]** Bei dem Ansaugungsverfahren wird die Rückströmung an einer Außenseite des Ansaugrings eingeschlossen, und bei dem Schaufelseparatorverfahren ist eine Rippe zwischen dem Gehäuse und dem Ring vorgesehen. Auch bei dem Luftseparatorverfahren werden bewegliche Schaufeln oder Leitschaufeln an ihren Spitzenteilen geöffnet, um die Rückströmung zu der Außenseite des Gehäuses zu leiten, wodurch eine Umkehr der Rückströmung durch die Rippe verhindert wird. Dies ist im Vergleich zu den beiden oben genannten Verfahren sehr wirkungsvoll, vergrößert jedoch die Abmessungen der Vorrichtung.

**[0011]** Um die Rechtsanstiegs-Druckhöhe zu erzielen, die einen stabilen Betrieb ermöglicht, ist das Vorsehen der oben genannten Gehäusebehandlung und

der Separatoren z. B. bereits aus dem US-Patent 4,212,585 usw. bekannt.

**[0012]** In der offen gelegten japanischen Patentanmeldung 2000-303995 (2000) wird eine Pumpe vorgeschlagen, die eine Vielzahl von Nuten aufweist, die an der inneren Gehäusefläche einer diagonal durchströmten Pumpe zum Verbinden der Laufradschaufel-Einlassseite mit einem Bereich an einer inneren Gehäusefläche, wo die Schaufeln angeordnet sind, ausgebildet sind, um die Umkehr oder den Wirbel in einem Einlass zu unterdrücken, wodurch eine Druckhöhenkurve erzielt wird, die nicht die oben genannte Rechtsanstiegs-Eigenschaft hat.

**[0013]** Mit der Gehäusebehandlung und den Separatoren aus dem Stand der Technik, wie oben genannt, ist es möglich, die Rechtsanstiegs-Eigenschaft der Druckhöhenkurve zu der Seite mit niedrigerem Durchsatz zu verschieben, um den Bereich des stabilen Betriebs zu vergrößern. Mit der Gehäusebehandlung sinkt die Effizienz der axial durchströmten Hydraulikmaschine um 1% pro 10% Anstieg der Verlustmarge. Bei einer Maschine, bei der die Nuten ausgebildet sind, um die Laufradschaufel-Einlassseite und den Bereich der Gehäuseinnenfläche zu verbinden, wo die Schaufeln angeordnet sind, können die Nuten leicht ausgebildet werden, und das Absinken der Effizienz ist gering, und weiterhin ist es möglich, eine Druckhöhenkurve zu erzielen, die nicht die Rechtsanstiegs-Eigenschaft hat. Es wurde jedoch nicht berücksichtigt, dass wegen der Beeinflussung zwischen der Strömung von den Schaufeln und den Nuten ein Pulsieren des Drucks auftritt, wenn die Schaufeln die Vielzahl der Nuten passieren, die an der Gehäuseinnenfläche ausgebildet sind. Deshalb besteht die Wahrscheinlichkeit, dass Vibrationen und/oder Geräusche verstärkt werden.

**[0014]** Außerdem können bei einer Turbomaschine wie einer axial durchströmten Hydraulikmaschine Kavitationen in der Nähe ihres Laufradschaufel-Einlasses auftreten. Die Kavitationen sind Folge der Erzeugung einer großen Zahl von Blasen in einer Flüssigkeit aufgrund von Verdampfung, wenn der Druck bis in die Nähe des Sättigungsdampfdrucks der Flüssigkeit, die in die Pumpe strömt, absinkt. Die erzeugten Blasen strömen im Inneren der Pumpe und brechen zusammen, wobei der Druck dort wiederhergestellt wird. Die Erzeugung von Kavitationen kann schädliche Wirkungen mit sich bringen, z. B. eine Verstärkung von Vibration und/oder Geräuschen und eine niedrige Leistung sowie eine Schädigung des Laufrads und der Wandfläche des Gehäuses.

**[0015]** NPAH, als „Re-NPAH“ bezeichnet, ist notwendig für die Pumpe, um solche Kavitationen darin bei einem bestimmten Betriebszustand zu vermeiden. NPAH bedeutet die verfügbare Höhe (d. h. die netto-positive Ansaughöhe) und gibt die Höhe des

gesamten Drucks der Flüssigkeit über der Referenzhöhe des Laufrads im Vergleich zu dem Sättigungsdampfdruck der Flüssigkeit bei dieser Temperatur an. Bei einem Zustand, in dem die Kavitationen leicht erzeugt werden können, ist daher die NPAH desto niedriger, je näher sie dem Sättigungsdampfdruck kommt. Es kann festgestellt werden, dass es schwieriger wird, Kavitationen in der Pumpe zu erzeugen, je niedriger die Re-NPAH ist. Die Situationen oder Bedingungen zum Erzeugen der Kavitationen sind verschieden, abhängig von den Betriebszuständen. Bei einer axial durchströmten und/oder diagonal durchströmten Pumpe hat die „Re-NPAH“ jedoch die Neigung, bei geringem Durchsatz, wo die Rechtsanstiegs-Eigenschaft auftritt, hoch zu sein. Bei diesem Zustand können Kavitationen leicht erzeugt werden. Die EP-0 754 864 A1 offenbart eine axial durchströmte Hydraulikmaschine mit einem Gehäuse, in dem frei drehbar ein Axiallaufrad mit einer Vielzahl von Schaufeln angeordnet ist. Eine Vielzahl von Nuten ist an der Innenfläche des Gehäuses in dem Bereich, wo die Schaufeln angeordnet sind, ausgebildet, wobei sich die Nuten in einer Druckgradientenrichtung erstrecken und in Umfangsrichtung des Gehäuses fluchtend ausgerichtet sind. Fluid wird durch eine Hochdruck-Fluideinspritzeinrichtung in die Nuten eingespritzt, um die Strömungsabrissgrenze zu erhöhen, ohne die Spitzeneffizienz zu senken, und um das Erzeugen einer positiven Steigung einer Höhen-Leistungskurve zu verhindern.

#### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0016]** Deshalb ist es eine Aufgabe der Erfindung, die Rechtsanstiegs-Eigenschaft bei der Druckhöhen-Durchsatz-Kennlinie zu verringern oder zu beseitigen und dadurch eine axial durchströmte Hydraulikmaschine zu erzielen, die einen breiten Betriebsbereich hat.

**[0017]** Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine axial durchströmte Hydraulikmaschine zur Verfügung zu stellen, die ein Absinken der Effizienz und ein Ansteigen von Vibrationen und/oder Geräuschen unterdrücken kann, insbesondere in einem stabilen Betriebsbereich in der Nähe eines Auslegungspunkts.

**[0018]** Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine verbesserte axial durchströmte Hydraulikmaschine zur Verfügung zu stellen, bei der kein Absinken der Leistung aufgrund von Kavitation stattfindet.

**[0019]** Diese Aufgaben werden durch eine axial durchströmte Hydraulikmaschine gelöst, die die Merkmale der Patentansprüche 1 bzw. 3 umfasst. Bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen axial durchströmten Hydraulikmaschine sind Gegenstand des Patentanspruchs 2 bzw. der Patentansprüche 4 bis 15.

**[0020]** Indem mehrere Nuten vorgesehen sind, die die Einlassseite des Laufrads und das Innere des Bereichs der Gehäuseinnenfläche verbinden, wo die Schaufeln angeordnet sind, ist es möglich, die Form der dem Laufrad gegenüberliegenden Nuten in Abhängigkeit von dem Betriebszustand der Pumpe zu verändern. Dadurch ist es möglich, eine Beeinflussungslänge zwischen dem Laufrad und den Nuten usw. zu verändern und dadurch die Menge des in den Nuten strömenden Fluids zu regeln.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0021]** Diese und andere Merkmale, Aufgaben und Vorteile der Erfindung werden aus der folgenden Beschreibung deutlicher, die im Zusammenhang mit den beigefügten Zeichnungen zu sehen ist, in denen:

**[0022]** **Fig. 1(a)** und **1(b)** meridionale Querschnittsansichten sind, die Hauptteile einer axialdurchströmten Hydraulikmaschine gemäß einer Ausführungsform der Erfindung zeigen;

**[0023]** **Fig. 2** eine Gesamt-Vertikal-Querschnittsansicht ist, die ein repräsentatives Beispiel einer axialdurchströmten Pumpe als eine der axialdurchströmten Hydraulikmaschinen zeigt;

**[0024]** **Fig. 3** eine meridionale Querschnittsansicht ist, die einen Hauptteil der axialdurchströmten Hydraulikmaschine zeigt, bei der Nuten in Druckgradientenrichtung ausgebildet sind;

**[0025]** **Fig. 4** eine Querschnittsansicht entlang von Pfeilen IV-IV aus der oben genannten **Fig. 3** ist;

**[0026]** **Fig. 5(a)** und **5(b)** meridionale Querschnittsansichten sind, die Hauptteile einer axialdurchströmten Hydraulikmaschine gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung zeigen;

**[0027]** **Fig. 6(a)** und **6(b)** meridionale Querschnittsansichten sind, die Hauptteile einer axialdurchströmten Hydraulikmaschine gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung zeigen;

**[0028]** **Fig. 7(a)** und **7(b)** ebenfalls meridionale Querschnittsansichten sind, die Hauptteile einer axialdurchströmten Hydraulikmaschine gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung zeigen;

**[0029]** **Fig. 8(a)** und **8(b)** ebenfalls meridionale Querschnittsansichten sind, die Hauptteile einer axialdurchströmten Hydraulikmaschine gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung zeigen;

**[0030]** **Fig. 10(a)** und **10(b)** ebenfalls meridionale Querschnittsansichten sind, die Hauptteile einer axialdurchströmten Hydraulikmaschine gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung zeigen;

**[0031]** **Fig. 11(a)** und **11(b)** zylindrische Querschnittsansichten sind, die eine axialdurchströmte Hydraulikmaschine gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung zeigen;

**[0032]** **Fig. 12** ein Graph ist, der eine typische Druckhöhen-Durchsatz-Kennlinie einer axialdurchströmten Hydraulikmaschine gemäß dem Stand der Technik zeigt;

**[0033]** **Fig. 13** ein Graph ist, der Verhältnisse zwischen dem Durchsatz und dem Vibrationsniveau bei der erfindungsgemäßen axialdurchströmten Hydraulikmaschine und bei derjenigen nach dem Stand der Technik zeigt;

**[0034]** **Fig. 14** ein Graph ist, der das Verhältnis zwischen dem Durchsatz und Kavitationen bei der erfindungsgemäßen axialdurchströmten Hydraulikmaschine und derjenigen nach dem Stand der Technik erläutert.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0035]** Eine Pumpe, die mit dem Ziel ihrer Effizienz konstruiert ist, neigt dazu, die Rechtsanstiegs-Eigenschaft in einem Teil der Druckhöhenkurve aufzuweisen, besonders in der Nähe eines Durchsatzes von 50% bis 70%, wenn der Durchsatz bei maximaler Effizienz als 100%-iger Durchsatz definiert ist. Sogar eine Pumpe, die nicht mit dem Ziel der Effizienz konstruiert ist, neigt dazu, bei der Druckhöhenkurve in der Nähe des Durchsatzes von 50% bis 70% einen flachen Teil aufzuweisen.

**[0036]** Ein Betriebsdurchsatz der Pumpe kann an einem Schnittpunkt der folgenden drei Größen bestimmt werden: Die tatsächliche Druckhöhe, die als Differenz zwischen dem Ansaugseiten-Wasserspiegel an der Pumpstation oder -anlage definiert ist; die Widerstandskurve, die die Summe der Widerstände von Rohrleitungen der Pumpstation ist; und die Druckhöhenkurve der Pumpe. Wenn die Druckhöhe eine Rechtsanstiegs-Bereich in einem Teil ihrer Kurve aufweist, kann es manchmal sein, dass mehrere Schnittpunkte zwischen der Druckhöhenkurve und der Widerstandskurve auftreten, und in solchen Fällen kann der Schnittpunkt nicht eindeutig an einem einzigen Punkt bestimmt werden, und dann kann der Durchsatz nicht bestimmt werden, deshalb fluktuiert die Pumpenauslassmenge innerhalb eines instabilen Bereichs, wodurch ihr Zustand unsteuerbar wird.

**[0037]** Aus diesem Grund, d. h. um ein Gleichgewicht zwischen der maximalen Effizienz und der Stabilität der Druckhöhe zu erzielen und dadurch eine Druckhöhenkurve ohne eine solche Rechtsanstiegs-Eigenschaft zu erzielen, neigt die maximale Effizienz zum Sinken. In einem Fall, wenn die Pumpe

einen solchen instabilen Bereich aufweist, wurde auch ein manueller Betrieb vorbereitet, um den Pumpenbetrieb nicht in den instabilen Bereich zu bringen, wodurch die Steuerung erreicht wurde. Eine Pumpe mit Drehzahlsteuerung kann jedoch bis zu dem Bereich betrieben werden, wo der Schnittpunkt der Widerstandskurve nicht in den instabilen Bereich fällt. Deshalb muss insbesondere, wenn ein Betrieb in den Bereichen erforderlich ist, die innerhalb des instabilen Bereichs liegen, eine Vielzahl von Pumpen vorgesehen sein, die gesteuert werden müssen, wobei jede Pumpe eine geringe Pumpkapazität hat. Daher besteht das Problem, dass die Anlagen und das Steuerungsverfahren kompliziert werden, was zu einem Anstieg ihrer Kosten führt.

**[0038]** Bei dem herkömmlichen Verfahren zum Erzielen der Stabilität der Druckhöhenkurve besteht auch das Problem, dass die Effizienz sinkt, was den Energieverbrauch erhöht.

**[0039]** Die Erfindung weist das herausragende Merkmal auf, dass sie das oben genannte Problem löst. Es wurde jedoch festgestellt, dass ein Druckpulsieren aufgrund einer Beeinflussung zwischen den Nuten und der Strömung von dem Laufrad verursacht wird, wenn die Laufradschaufel an den Nuten vorbeigeht, und dass das Druckpulsieren die Pumpe anregt. Dies ist ein neues Problem, das Vibrationen und Geräusche verstärkt, die von dem Hauptkörper der Pumpe und/oder ihren Rohrleitungen verursacht werden. Deshalb sind Maßnahmen für die Geräusche/Vibrationen nötig, insbesondere wenn die Pumpstation angrenzend an ein Wohngebiet angeordnet wird oder wenn das Wohngebiet in der Umgebung der Pumpstation gebaut wird.

**[0040]** Es wird eine erfindungsgemäße Ausführungsform erläutert, bei der Verringerungen der Rechtsanstiegs-Eigenschaft und der Kavitation bei kleinem Durchsatz erreicht werden können, indem die Maßnahmen für die Geräusche/Vibrationen berücksichtigt werden.

**[0041]** Weiterhin ist die Erfindung besonders wirksam, wenn das Übersetzungsverhältnis  $N_s$  ( $N_s = N \times Q^{0.5}/H^{0.75}$ ), das ein Index ist, der die Kennlinie der Pumpe angibt, im Bereich von 1.000 bis 2.200 liegt, wobei die Drehzahl der Pumpe  $N$  (U/min.), die Gesamthöhe  $H$  (m) und die Auslassmenge  $Q$  (m<sup>3</sup>/min.) ist, und wenn die tatsächliche Höhe, die durch den Ansaugwasserspiegel und den Auslasswasserspiegel in der Pumpstation bestimmt ist, gleich oder größer als 50% der Höhe des Bestimmungspunkts dieser Pumpe ist.

**[0042]** Im Folgenden werden erfindungsgemäße Ausführungsformen vollständig unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen erläutert.

**[0043]** **Fig. 2** ist eine Gesamt-Querschnittsansicht, die ein repräsentatives Beispiel der axialdurchströmten Pumpe als eine der axialdurchströmte Hydraulikmaschinen zeigt. In der Zeichnung bezeichnet ein Bezugszeichen **1** ein Laufrad, das Axialströmungsschaufeln oder -leitschaufeln aufweist und frei drehbar in einem Gehäuse **2** vorgesehen ist, z. B. durch eine Rotationswelle **4**. Ein Bezugszeichen **3** bezeichnet ein Durchlassportal (Leitschaufeln), das die Strömung von dem Laufrad **1** leitet und auch ein Wellenlager **11** trägt, an dem die Rotationswelle **4** gelagert ist. Bei dem Aufbau eines Teils in der Nähe eines Teils A, der durch eine umgebende Doppelpunkt-Strich-Linie in **Fig. 2** gezeigt ist, ist eine Vielzahl von Nuten **5** ausgebildet, wie in **Fig. 3** gezeigt, z. B. die Nuten **5**, die die Schaufeleinlassseite mit dem Inneren des Schaufelbereichs (des Bereichs, wo die Schaufeln angeordnet sind) in der Druckgradientenrichtung des Flüssigkeitsdrucks verbinden. **Fig. 4** ist eine Ansicht entlang der Pfeile IV-IV in **Fig. 3**, wie oben erwähnt, also eine Ansicht des Gehäuses **2** und des Laufrads **1** von der Vorderfläche gesehen. Die Nuten **5** sind an einer Innenfläche des Gehäuses **2** vorgesehen oder ausgebildet und fluchten in deren Umfangsrichtung. Jede Nut ist eine flache Nut, bei deren Aufbau die Tiefe geringer als die Breite ist. Außerdem sind die Nuten **5** in der Richtung des Druckgradienten der Flüssigkeit ausgebildet und erstrecken sich von einem Mittelteil einer Schaufelspitze bis zu einer Position, wo die Rezirkulierungsströmung erzeugt wird, wenn der Durchsatz gering ist. Durch die Anordnung dieser Nuten **5** strömt die Flüssigkeit, deren Druck durch das Laufrad **1** erhöht wird, rückwärts in der Richtung von einer Endposition der Nuten an einer Stromabseite bis zu einer anderen an der Stromauseite, so dass sie an einer Position herausspritzt, wo die Rezirkulierungsströmung (d. h. die Rückströmung an dem Laufradschaufeleinlass) erzeugt wird, wenn der Durchsatz niedrig ist, wodurch die Erzeugung der Rezirkulierungsströmung unterdrückt wird. Dadurch ist es möglich, die Hauptströmung zu unterdrücken, die wegen der Rezirkulierungsströmung von dem Vorwirbel beeinflusst wird, wodurch das Auftreten eines Stillstands bei der Drehung der Schaufeln des Laufrads verhindert wird.

**[0044]** Die Nut **5**, die in der oben genannten Druckgradientenrichtung ausgebildet ist, hat eine Breite von 5 bis 150 mm (bevorzugt 5 bis 30 mm) und eine Tiefe von 1 bis 30 mm (bevorzugt 2 bis 6 mm, abhängig von der Größe der Pumpe), und es ist bevorzugt, dass die Nuttiefe ungefähr 5 bis 50% (bevorzugt 10 bis 30%) der Nutbreite beträgt. Außerdem sind die Nuten so aufgebaut, dass die gesamte Breite dieser Nuten ungefähr 30 bis 50% des Umfangs der Innenfläche des Gehäuses ausmacht, wo die Nuten angeordnet sind, während die Nuttiefe ungefähr 0,5 bis 2% des Durchmessers der Innenfläche des Gehäuses, wo die Nuten angeordnet sind, beträgt, und weiterhin ist es bevorzugt, dass die Länge eines Ab-

schnitts der Nuten, der den Laufradschaufeln gegenüberliegt, ungefähr 20 bis 50% der Länge der Schaufel beträgt.

**[0045]** Als Nächstes folgt eine ausführlichere Erläuterung eines bevorzugten Aufbaus, wenn die oben genannten Nuten **5** in einer axialdurchströmten Hydraulikmaschine verwendet werden, unter Bezugnahme auf **Fig. 1(a)** und **1(b)** und auch auf **Fig. 5(a)** bis **11(b)**. **Fig. 5(a)** bis **10(b)** sind vergrößerte Ansichten eines Teils in der Nähe des Teils A, der von der oben genannten Doppelpunkt-Strich-Linie in **Fig. 2** umschlossen ist, und **Fig. 11(a)** und **11(b)** sind entsprechende zylindrische Querschnittsansichten davon in der Nähe des Teils A.

**[0046]** Bei der in **Fig. 1(a)** und **1(b)** dargestellten Ausführungsform ist eine Gehäuseauskleidung (ein beweglicher Teil) **6** an der Innenfläche des Gehäuses **2** vorgesehen und ist in dessen Axialrichtung frei bewegbar. An der Innenfläche dieser Gehäuseauskleidung **6** ist die Vielzahl von Nuten (Strömungswege) ausgebildet, die die Einlassseite der Schaufel mit dem Schaufelbereich in der Gradientenrichtung des Flüssigkeitsdrucks verbindet und in dessen Umfangsrichtung fluchtend ausgerichtet ist. Die Nuten **5**, die in dem Schaufelbereich liegen, können in ihrer Position verschoben werden, indem die Gehäuseauskleidung **6** in der axialen Richtung bewegt wird, was es ermöglicht, die Beeinflussungslänge zu ändern, die zwischen dem Laufrad gebildet ist. Dadurch ist es möglich, eine Einstellung des Durchsatzes der Flüssigkeit vorzunehmen, die in den Nuten strömt, insbesondere in der Gradientenrichtung des Flüssigkeitsdrucks.

**[0047]** Wie in **Fig. 1(a)** und **1(b)** gezeigt ist, bringt die Bewegung der Gehäuseauskleidung **6** nach rechts (R-Richtung) in der axialen Richtung das Laufrad **1** und die Nuten **5** in einen Zustand, in dem sie einander beeinflussen (s. **Fig. 1(a)**). In dem Betriebsbereich eines niedrigen Durchsatzes, wo die Rechtsanstiegs-Eigenschaft an der Druckhöhen-Durchsatz-Kennlinie auftritt, werden die Nuten und das Laufrad in den in **Fig. 1(a)** gezeigten Zustand gebracht; d. h. sie beeinflussen einander, so dass ein Teil der Flüssigkeit, deren Druck von den Laufradschaufeln erhöht wird, an der Position, wo die Rezirkulierungsströmung in der Schaufeleinlassseite auftreten kann, durch die Nuten herausspritzt. Dabei kann der Vorwirbel unterdrückt oder daran gehindert werden, die Hauptströmung an dem Laufradeinlass zu stören, wodurch die Rechtsanstiegs-Eigenschaft an der Druckhöhen-Durchsatz-Kennlinie verringert oder beseitigt werden kann.

**[0048]** In dem in **Fig. 1(a)** dargestellten Zustand tritt die Beeinflussung zwischen der Strömung von dem Laufrad **1** und den Nuten **5** auf, wodurch das Druckpulsieren hervorgerufen wird. Das Erzeugen des

Druckpulsierens regt die Vibration der Turbomaschine an, wodurch die Vibrationen/Geräusche verstärkt werden. Deshalb wird erfindungsgemäß innerhalb des Betriebsbereichs außer in dem Bereich, wo die Rechtsanstiegs-Eigenschaft an der Druckhöhen-Durchsatz-Kennlinie auftritt, die Gehäuseauskleidung zur linken Seite (L-Richtung) auf der Achse verschoben, um in den in **Fig. 1(b)** dargestellten Zustand gebracht zu werden, wodurch die Nuten **5** und die Schaufeln einander nicht mehr beeinflussen. Damit kann das Druckpulsieren, das aufgrund der zwischen den Schaufeln und den Nuten **5** auftretenden Beeinflussung hervorgerufen wird, gering gemacht werden, wodurch der Anstieg der Vibrationen/Geräusche aufgrund dieses Druckpulsierens unterdrückt wird.

**[0049]** **Fig. 13** ist ein Graph, der das Verhältnis der Vibrationsbeschleunigung zeigt, wobei der Fall, in dem die Nuten **5** vorgesehen sind, mit dem Fall verglichen wird, in dem keine solche Nut vorgesehen ist. Die Horizontalachse gibt den nicht dimensionalen Durchsatz  $\phi$  an, während die Vertikalachse die Vibrationsbeschleunigung angibt (d. h. das Vibrationsniveau). In dem Graph gibt ein schwarzer Kreis die Vibrationsbeschleunigung an, wenn keine Nut an dem Gehäuse vorgesehen ist, während ein weißer Kreis die Vibrationsbeschleunigung angibt, wenn die Nuten an dem Gehäuse vorgesehen sind. Wie deutlich in dieser Zeichnung gezeigt ist, ist ersichtlich, dass die Vibrationsbeschleunigung in dem Fall, wenn die Nuten **5** an dem Gehäuse vorgesehen sind, in allen Bereichen des Durchsatzes verstärkt ist, im Vergleich zu dem Fall, wenn keine Nuten vorgesehen sind.

**[0050]** Bei der vorliegenden Ausführungsform, deren Aufbau es ermöglicht, die Nuten zu verschieben, kann, da die Beeinflussung in Abhängigkeit von dem Betriebszustand reduziert werden kann, in einem bestimmten Betriebsbereich die Vibration auf ein Niveau gesenkt werden, das ähnlich ist wie bei dem Zustand, in dem keine Nut vorhanden ist. Dies gilt ebenfalls für die Geräusche.

**[0051]** Weiterhin kann gemäß der vorliegenden Ausführungsform durch das Vorsehen der Nuten **5** die Wirkung erzielt werden, dass eine Verbesserung der Leistung erreicht werden kann, die aufgrund der an dem Laufrad gebildeten Kavitationen reduziert ist. In dem Betriebsbereich, wo die Rechtsanstiegs-Eigenschaft auftritt, besteht die Neigung, dass die Reduzierung der Leistung aufgrund der Kavitation beachtlich wird, begleitet von der Rückströmung (dem Zurückströmen), die durch Entschichtung und/oder Strömungsabriss des Laufrads hervorgerufen wird. Im Gegensatz dazu ist es möglich, da die Strömung in dem Laufrad durch Unterdrückung der Drehung oder des Wirbels, der an dem Einlass erzeugt wird, verbessert werden kann, die Bildung der Kavitationen zu unterdrücken und auch die Reduzierung der

Leistung aufgrund der Kavitation zu verringern.

**[0052]** **Fig. 14** ist ein Graph, der ein Verhältnis der Leistung bezogen auf die Kavitation zeigt, wobei Fälle, in denen die Nuten **5** vorgesehen sind, und Fälle, in denen keine Nuten vorgesehen sind, verglichen werden. Die Horizontalachse zeigt den nicht dimensionalen Durchsatz  $\phi$ , während die Vertikalachse die dimensionslose „Re-NPAH“ ( $\delta$ ) zeigt. In dem Graph gibt ein schwarzer Kreis die Kavitationen an, die gebildet werden, wenn keine Nut an dem Gehäuse vorgesehen ist, während ein weißer Kreis die Kavitationen angibt, die gebildet werden, wenn die Nuten an dem Gehäuse vorgesehen sind. Es ist ersichtlich, dass die Leistung bezogen auf die Kavitation in dem Fall, wenn keine solche Nut vorgesehen ist, sich verschlechtert oder abfällt, wenn der dimensionslose Durchsatz 0,6 beträgt, dass jedoch die Leistung bezogen auf die Kavitation stark verbessert werden kann, wenn die Nuten vorgesehen sind.

**[0053]** Als Nächstes wird der Mechanismus zum Bewegen der Gehäuseauskleidung (ein bewegliches Element) **6** erläutert, indem auf **Fig. 1(a)** und **1(b)** Bezug genommen wird. Eine Welle **7** läuft oder dringt durch das Gehäuse **2** an der Ansaugseite, das bewegliche Element **6** und das Gehäuse **2** an der Auslassseite. An der Auslassseite des Gehäuses ist ein Motor **8** vorgesehen. Das bewegliche Element **6** und die Welle **7** sind durch Schrauben miteinander verbunden, und sie sind so aufgebaut, dass das bewegliche Element **6** durch den Schraubenteil in der L-Richtung oder der R-Richtung verschoben werden kann. Als ein solcher beweglicher Mechanismus kann jedoch z. B. ein Hydraulikzylinder an Stelle des Motors verwendet werden. Zur Steuerung des Bewegungsmechanismus sind ein Drucksensor zum Messen des Innendrucks der Pumpe, ein Ultraschall-Durchsatzmesser oder ein elektromagnetischer Durchsatzmesser zum Messen der Auslassmenge der Pumpe usw. vorgesehen. Sie sind so aufgebaut, dass der bewegliche Teil durch den Motor oder den Zylinder bewegt wird, wenn der Innendruck oder die Auslassmenge auf einen vorher bestimmten Wert ansteigt, wodurch eine automatische Steuerung ermöglicht wird.

**[0054]** Bei der in **Fig. 5(a)** und **5(b)** gezeigten Ausführungsform ist das bewegliche Element **6** so vorgesehen, dass es sich an der Innenfläche des Gehäuses in der axialen Richtung bewegt, wodurch es alle oder einen Teil der Nuten **5** öffnen oder schließen kann, die in der Druckgradientenrichtung ausgebildet sind und von denen eine Vielzahl an der Gehäuseinnenfläche vorgesehen und in deren Umfangsrichtung fluchtend ausgerichtet sind, um die Laufradeinlassseite mit einer Innenseite des Schaufelbereichs an der Gehäuseinnenfläche zu verbinden. Das bewegliche Element **6** hat eine zylindrische Form, und in dem in **Fig. 5(a)** und **5(b)** dargestellten Beispiel ist es so

aufgebaut, dass ein Teil der Nuten, die den oben genannten Schaufeln gegenüberliegen, in einen geöffneten Zustand gebracht wird, indem das bewegliche Element **6** zu der Ansaugseite bewegt wird (L-Richtung), wie in **Fig. 5(b)** gezeigt. In dem in **Fig. 5(b)** dargestellten Zustand beeinflussen also die Schaufeln und die Nuten **5** einander, und ein Betrieb kann erzielt werden, bei dem die Rechtsansteigs-Eigenschaft an der Druckhöhen-Durchsatz-Kennlinie verringert oder beseitigt werden kann. Auch die Bewegung des beweglichen Elements **6** zu der Auslassseite (R-Richtung) kann die Schaufeln und die Nuten **5** in den Zustand bringen, bei dem keine Beeinflussung zwischen ihnen auftritt, d. h. bei dem keine Nut **5** innerhalb des Schaufelbereichs liegt. Daher ist es möglich, einen Anstieg der Vibrationen/Geräusche zu unterdrücken, die durch das Druckpulsieren aufgrund der Beeinflussung zwischen den Schaufeln und den Nuten **5** verursacht werden. Indem die Nuten und die Schaufeln so aufgebaut sind, ist es möglich, die Länge der Beeinflussung zwischen ihnen durch die Position des beweglichen Elements **6** zu verändern, wodurch der Durchsatz der Flüssigkeit eingestellt wird, die in der Gradientenrichtung des Flüssigkeitsdrucks in den Nuten strömt.

**[0055]** Weiterhin ist es in ähnlicher Art auch möglich, einen Mechanismus zu erzielen, bei dem die Nuten in dem Teil, der den Schaufeln gegenüberliegt, in einen Öffnungszustand gebracht werden, indem das oben genannte bewegliche Element **6** zu der Auslassseite verschoben wird (R-Richtung), und ein Beispiel hierfür wird unter Bezugnahme auf **Fig. 6(a)** und **6(b)** erläutert. In **Fig. 6(a)** und **6(b)** sind an der Innenfläche des Gehäuses **2** die Nuten **5** und das in Axialrichtung bewegliche zylindrische Element vorgesehen. Das Verschieben des beweglichen Elements **6** in die R-Richtung kann die Schaufeln und die Nuten **5** in den Zustand bringen, in dem sie einander beeinflussen, wie in **Fig. 6(b)** gezeigt, was einen Betrieb ermöglicht, bei dem die Rechtsansteigs-Eigenschaft an der Druckhöhen-Durchsatz-Kennlinie verringert oder beseitigt werden kann. Außerdem kann das Verschieben des beweglichen Elements **6** in der L-Richtung zu dem Zustand führen, in dem keine Beeinflussung zwischen den Schaufeln und den Nuten **5** auftritt, wie in **Fig. 6(a)** gezeigt; d. h. zu dem gleichen Zustand, wenn keine Nut innerhalb des Schaufelbereichs liegt. Daher ist es möglich, die Vibrationen/Geräusche aufgrund der zwischen den Schaufeln und den Nuten **5** auftretenden Beeinflussung zu unterdrücken. Das Verschieben des beweglichen Elements **6** auf diese Art kann die Steuerung der Flüssigkeit ermöglichen, die durch die Nuten strömt, indem die Länge geändert wird, die die Beeinflussung zwischen den Nuten **5** in dem Schaufelbereich und dem Laufrad **1** verursacht.

**[0056]** Bei der in **Fig. 7(a)** und **7(b)** gezeigten Ausführungsform ist ein Teil des Gehäuses **2a** (das be-

wegliche Element) in dem Gehäuse **2**, das dem Laufrad gegenüberliegt, so aufgebaut, dass es in der axialen Richtung bewegbar ist, während an der Innenfläche des beweglichen Gehäuses **2a** eine Vielzahl von Nuten (d. h. die Strömungswege) **9** in der axialen Richtung ausgebildet ist, die in deren Umfangsrichtung fluchtend ausgerichtet sind, um die Laufradschaufel-Einlassseite und eine Innenseite des Schaufelbereichs in der Gradientenrichtung des Flüssigkeitsdrucks zu verbinden. Das Verschieben des Gehäuses **2a** in der axialen Richtung kann die Position der Nuten **9** verändern, um die Länge zu verändern, die eine Beeinflussung zwischen dem Laufrad **1** verursacht, wodurch eine Einstellung des Durchsatzes der Flüssigkeit ermöglicht wird, die in der Gradientenrichtung des Flüssigkeitsdrucks in den Nuten **5** strömt.

**[0057]** Bei dieser Ausführungsform ist das Gehäuse **2** außerdem so angeordnet, dass es mit dem Teil der Nuten **5** überlappt, der an dem beweglichen Gehäuse **2a** ausgebildet ist, wodurch die Nuten geschlossen werden, und es ist auch so aufgebaut, dass die Nuten innerhalb des Schaufelbereichs erscheinen, wenn das bewegliche Gehäuse **2a** in der axialen Richtung verschoben wird. Weiterhin umfasst diese Ausführungsform Verbindungs-nuten (d. h. die Strömungswege) **9a**, die so ausgebildet sind, dass sie mit den oben genannten Nuten in der axialen Richtung in Verbindung stehen, und die in der Umfangsrichtung an der Stromabseite vorgesehen sind. Deshalb ist es so aufgebaut, dass die Nuten, die in dem Schaufelbereich in der Umfangsrichtung in Verbindung stehen, erscheinen, wenn das bewegliche Gehäuse **2a** in der axialen Richtung verschoben wird. Weiterhin können die oben genannten Nuten **9**, wie oben beschrieben wurde, nicht nur als Nuten in der Druckgradientenrichtung zum Verbinden der Laufradeinlassseite mit einem Inneren des Schaufelbereichs an der Innenfläche des Gehäuses, sondern auch als Strömungswege für eine Erstreckung der Nuten **9** in der Umfangsrichtung durchgehend vorgesehen sein. Ein Bezugszeichen **10** bezeichnet eine Öffnung, die an der Position vorgesehen ist, wo sie mit einem stromaufwärtigen Ende (d. h. einem Ende der linken Seite) jedes Strömungswegs (d. h. der Nut **9**) in Verbindung steht, wenn das bewegliche Gehäuse **2a** nach rechts (R-Richtung) verschoben wird, und von dieser Öffnung **10** ist eine Vielzahl vorgesehen, wobei alle in der Umfangsrichtung fluchtend ausgerichtet sind. Diese Öffnungen **10** sind dafür vorgesehen, das Fluid herauszuspritzen, das zu der Stromaufseite rückwärts von dem Laufrad durch die Strömungswege **9** zu der Laufradschaufel-Einlassseite strömt, wo die Rezirkulationsströmung auftritt.

**[0058]** Das Verschieben des Gehäuses **2a** in die R-Richtung kann dazu führen, dass die Strömungswege **9** und **9a** an der Umfangsseite der Laufradschaufeln erscheinen, wie in **Fig. 7(b)** gezeigt. Ein

Teil des Fluids, dessen Druck durch das Laufrad **1** erhöht wird, tritt durch die Strömungswege **9a** ein, die in Umfangsrichtung ausgebildet sind, und durchläuft die Strömungswege **9**, die in der axialen Richtung ausgebildet sind (oder die in Umfangsrichtung ausgebildet sind) und spritzt anschließend aus den Öffnungen **10** in den Bereich, wo die Rezirkulationsströmung in dem Laufradschaufel-Einlass auftritt, wodurch verhindert wird, dass der Vorwirbel die Hauptströmung an dem Laufradeinlass stört. Dies ermöglicht es, den Stillstand des Laufrads zu unterdrücken und die Rechtsanstiegs-Eigenschaft an der Druckhöhen-Durchsatz-Kennlinie zu verringern oder zu beseitigen.

**[0059]** Während durch das Verschieben des Gehäuses **2a** in die L-Richtung die Schaufeln und die Strömungswege, die von dem Gehäuse **2a** und dem beweglichen Teil **6** gebildet werden, in den Zustand gebracht werden können, in dem keine Beeinflussung zwischen ihnen auftritt, wie in **Fig. 7(a)** gezeigt; d. h. in einen bestimmten Betriebsbereich (d. h. in einen gewöhnlichen Betriebsbereich, wo keine Rechtsanstiegs-Eigenschaft auftritt), ist es möglich, eine bevorzugte Betriebsbedingung aufrechtzuerhalten, ohne ein Absinken der Effizienz zu verursachen, die dadurch entsteht, dass der Teil des Fluids, dessen Druck durch das Laufrad erhöht wird, in die Laufradschaufel-Einlassseite usw. austritt.

**[0060]** Bei der in **Fig. 8(a)** und **8(b)** gezeigten Ausführungsform ist an der Innenfläche des Gehäuses **2**, ähnlich wie bei den oben genannten Beispielen, eine Vielzahl von Nuten **5** in der Druckgradientenrichtung an der Gehäuseinnenfläche ausgebildet, die in deren Umfangsrichtung fluchtend ausgerichtet sind, wobei die Nuten **5** die Laufradeinlassseite und ein Inneres des Inneren des Schaufelbereichs verbinden. In diesen Nuten **5** sind die beweglichen Elemente **6** angeordnet, wobei jedes Element **6** in der axialen Richtung (parallel zu der Nut) innerhalb der Nut bewegbar ist und so aufgebaut ist, dass es einen Teil der Nut, der den Laufradschaufeln gegenüberliegt, öffnet und schließt.

**[0061]** In dem Betriebsbereich, in dem die Rechtsanstiegs-Eigenschaft an der Druckhöhen-Durchsatz-Kennlinie der axialdurchströmten Hydraulikmaschine auftritt, wird das bewegliche Element **6** in der L-Richtung verschoben, wie in **Fig. 8(b)** gezeigt, so dass die Nuten **5** in dem Schaufelbereich erscheinen. Dies führt zu einem Zustand, in dem die Nuten **5** innerhalb des Schaufelbereichs liegen. Deshalb strömt der Teil des Fluids, dessen Druck von dem Laufrad erhöht wird, in einem Inneren der Nuten zu der Laufradschaufel-Einlassseite gegen die Hauptströmung, um in den Bereich herauszuspritzen, wo die Rezirkulationsströmung in dem Laufradschaufel-Einlass auftritt, wodurch verhindert wird, dass der Vorwirbel die Hauptströmung an dem Laufradeinlass stört. Das

führt dazu, dass der Drehströmungsabriss des Laufrads unterdrückt oder verhindert werden und die Rechtsanstiegs-Eigenschaft der Druckhöhen-Durchsatz-Kennlinie verringert oder beseitigt werden kann.

**[0062]** In einem gewöhnlichen Betriebsbereich, wo keine Rechtsanstiegs-Eigenschaft in der Druckhöhen-Durchsatz-Kennlinie auftritt, wird außerdem das bewegliche Element **6** in die R-Richtung bewegt, wie in **Fig. 8(a)** gezeigt, und anschließend wird der Teil der Nuten, der den Laufradschaufeln gegenüberliegt, geschlossen, wodurch der Zustand hergestellt wird, in dem keine Nut innerhalb des Schaufelbereichs liegt. Damit ist es möglich, das Entstehen von Druckschwankungen oder -pulsieren aufgrund der Beeinflussung, die zwischen den Laufradschaufeln und den Nuten verursacht wird, zu unterdrücken oder zu verhindern, insbesondere in dem Betriebsbereich, wo keine solche instabile Kennlinie auftritt, wodurch das Entstehen von Vibrationen/Geräuschen verhindert wird.

**[0063]** Weiterhin kann bei diesem Beispiel leicht eine Einstellung an den stromaufwärtigen Endpositionen der Nuten **5** vorgenommen werden, was es ermöglicht, die Nuten in eine geeignete Form zu bringen.

**[0064]** Bei der in **Fig. 9(a)** und **9(b)** gezeigten Ausführungsform ist in ähnlicher Weise wie bei den oben genannten Beispielen eine Vielzahl von Nuten **5** in der Druckgradientenrichtung mit am Umfang fluchtender Ausrichtung angeordnet, und in jeder der Nuten **5** ist weiterhin ein bewegliches Element **6** vorgesehen, das über die gesamte Länge der Nut eine Dicke hat, die geringer als die Tiefe der Nut ist, was es dem beweglichen Element ermöglicht, sich in der radialen Richtung zu bewegen. Das Verschieben der beweglichen Elemente **6** in einer Außendurchmesserrichtung (R-Richtung), wie in **Fig. 9(b)** gezeigt, kann in einem dem Laufrad gegenüberliegenden Teil eine flache Nut mit großer Breite erzeugen. Außerdem kann das Verschieben des beweglichen Elements **6** in einer Innendurchmesserrichtung (L-Richtung), wie in **Fig. 9(a)** gezeigt, dazu führen, dass die Nut **5** durch das bewegliche Element geschlossen wird; daher ist es möglich, den Zustand herbeizuführen, in dem keine Nut innerhalb des Schaufelbereichs liegt.

**[0065]** Mit diesem Aufbau kann die Pumpe in einem instabilen Betriebsbereich, wo die Rechtsanstiegs-Eigenschaft in der Druckhöhen-Durchsatz-Kennlinie auftritt, in dem Zustand arbeiten, der in **Fig. 9(b)** gezeigt ist, deshalb kann sie bezüglich der Rechtsanstiegs-Eigenschaft der Kennlinie verbessert werden. Auch in einem stabilen Betriebsbereich, wo die Rechtsanstiegs-Eigenschaft nicht auftritt, kann in demselben Zustand, wenn keine Nut ausgebildet ist, wie in **Fig. 9(a)** gezeigt, die Effizienz des Betriebs er-

höht werden.

**[0066]** Weiterhin ist es bei der Ausführungsform, die in **Fig. 9(a)** und **9(b)** gezeigt ist, möglich, eine Einstellung der Tiefe der Nut vorzunehmen und dadurch diese auf ihre geeignetste Länge zu bringen.

**[0067]** Bei der in **Fig. 10(a)** und **10(b)** gezeigten Ausführungsform ist ähnlich wie bei dem in **Fig. 9(a)** und **9(b)** gezeigten Beispiel das bewegliche Element **6** in der Nut **5** angeordnet. Bei diesem Beispiel ist das bewegliche Element jedoch so aufgebaut, dass es in der Nut herunterfallen kann. Bei dieser Ausführungsform hat die Nut **5** eine Form, bei der der untere Teil abgeschrägt ist, während das bewegliche Element mit einem solchen Mechanismus aufgebaut ist, dass es um den flachen Teil der Nut (die Stromaufseite der Hauptströmung) als Gelenkpunkt drehen kann.

**[0068]** In dem instabilen Betriebsbereich, wo die Rechtsanstiegs-Eigenschaft an der Druckhöhen-Durchsatz-Kennlinie der axialdurchströmten Hydraulikmaschine auftritt, kann die Drehung des beweglichen Elements **6** in der L-Richtung dazu führen, dass die Nuten **5** in dem Schaufelbereich erscheinen, wie in **Fig. 10(b)** gezeigt, wodurch der Betrieb unter Verwendung der Nuten ermöglicht wird, ähnlich wie in jedem der oben genannten Beispiele. Außerdem wird in dem stabilen Betriebsbereich, wo die Rechtsanstiegs-Eigenschaft nicht auftritt, das bewegliche Element **6** in die R-Richtung gedreht, um den Zustand herbeizuführen, bei dem keine Nut innerhalb des Schaufelbereichs liegt, wodurch ein Betrieb mit erhöhter Effizienz ermöglicht wird.

**[0069]** Bei der in **Fig. 11(a)** und **11(b)** gezeigten Ausführungsform ist eine Vielzahl von Nuten **5** an der Innenfläche des Gehäuses **2** ausgebildet, die in der Druckgradientenrichtung ausgerichtet sind und in deren Umfangsrichtung fluchtend ausgerichtet sind, um die Laufradeinlassseite mit einer Innenseite des Inneren des Schaufelbereichs der Gehäuseinnenfläche zu verbinden. Bei diesem Beispiel sind, wie in der Zeichnung gezeigt, die Nuten gleichmäßig am Umfang des Gehäuses in einer Vielzahl von Sätzen (d. h. vier (**4**) Sätze in der Zeichnung) in Einheiten von mehreren Stücken (d. h. fünf (**5**) Stück in der Zeichnung) angeordnet. Außerdem ist an der Innenfläche des Gehäuses **2** ein kammartiges, zylindrisches, bewegliches Element **6a** so vorgesehen, dass es innerhalb des Gehäuses drehbar ist, so dass es die mehreren Sätze der Gruppen der oben genannten Nuten bedecken kann. Das Drehen des beweglichen Elements **6a** kann zu dem Zustand führen, bei dem die Nuten **5** von dem kammartigen Teil des zylindrischen beweglichen Elements bedeckt sind, oder alternativ kann die drehende Bewegung des kammartigen Teils in einen Teil, in dem keine Nuten **5** liegen, dazu führen, dass die Nuten an der Gehäuseinnenfläche erscheinen.

**[0070]** Auf diese Art führt in dem instabilen Betriebsbereich, wo die Rechtsanstiegs-Eigenschaft auftritt, die Drehung des beweglichen Elements **6a**, wie in **Fig. 11(b)** gezeigt, dazu, dass die Nuten **5** an der Innenfläche des Gehäuses erscheinen, wodurch ein Betrieb unter Verwendung der Wirkungen der Nuten ermöglicht wird, ähnlich wie bei jedem der oben genannten Beispiele. Auch in dem stabilen Betriebsbereich kann, wie in **Fig. 11(a)** gezeigt, die Drehung des beweglichen Elements **6a** dazu führen, dass die Nuten **5** von diesem bedeckt sind, d. h. zu dem Zustand, bei dem keine Nut darin liegt, was eine Erhöhung der Effizienz des Betriebs ermöglicht.

**[0071]** Obwohl die Erläuterung sich auf das Beispiel bezog, bei dem die Nuten **5** satzweise vorgesehen sind, wie in den oben genannten **Fig. 11(a)** und **11(b)**, ist es jedoch auch möglich, die Nuten **5** in einer Vielzahl gleichmäßig verteilt vorzusehen, wobei sie in ihrer Umfangsrichtung fluchtend angeordnet sind, so wie den kammartigen Teil so aufzubauen, dass er jede Nut mit einem Zahn abdeckt, der den Nuten um den Umfang herum gleicht.

**[0072]** Gemäß der vorliegenden Erfindung strömt ein Teil der Flüssigkeit, deren Druck durch das Laufrad erhöht wird, in die Strömungswege zurück, die in dem Gehäuse ausgebildet sind, und spritzt an der Position heraus, wo die Rezirkulierungsströmung auftritt, da die Nuten vorgesehen sind, die an der Gehäuseinnenfläche ausgebildet sind und in der Druckgradientenrichtung ausgerichtet sind, um die Laufrauminlassseite und ein Inneres des Schaufelbereichs zu verbinden, wodurch die Erzeugung eines Vorwirbels in dem Fluid, das in das Laufrad strömt, unterdrückt wird. Da es aufgrund der Rezirkulierungsströmung in dem Laufradschaufelbereich möglich ist, die Erzeugung einer Drehung oder eines Wirbels sowie die Erzeugung eines Drehströmungsabrisses des Laufrads zu unterdrücken oder zu verhindern, kann damit eine axialdurchströmte Hydraulikmaschine erzielt werden, die eine Druckhöhen-Durchsatz-Kennlinie hat, die bezüglich der Rechtsanstiegs-Eigenschaft verbessert ist, wodurch eine Vergrößerung ihres Betriebsbereichs und eine hohe Effizienz erreicht werden.

**[0073]** Durch das Vorsehen der oben genannten Nuten ist es darüber hinaus auch möglich, die Erzeugung von Kavitationen an der Betriebsseite mit geringem Durchsatz zu unterdrücken, wodurch das Absinken von deren Leistung verringert wird.

**[0074]** Bei dem Aufbau, bei dem die Nuten in ihrer Position verschoben werden können und abhängig von dem Betriebszustand der Fluidmaschine geöffnet oder geschlossen werden können, ist es weiterhin möglich, die Länge der Beeinflussung zu ändern, die zwischen den Nuten und dem Laufrad verursacht wird, oder keine Beeinflussung zwischen ihnen zu

bewirken; deshalb ist es in dem stabilen Betriebsbereich in der Nähe des Auslegungspunkts, an dem keine Rechtsanstiegs-Eigenschaft auftritt, möglich, einen Betriebszustand zu erreichen, in dem die Vibrationen/Geräusche gering sind und die Effizienz besser wird.

**[0075]** Während mehrere erfindungsgemäße Ausführungsformen gezeigt und beschrieben wurden, ist hervorzuheben, dass die offenbarten Ausführungsformen Änderungen und Modifikationen unterworfen werden können, ohne vom Schutzbereich der Erfindung abzuweichen. Daher ist keine Beschränkung auf die hierin gezeigten und beschriebenen Einzelheiten beabsichtigt, sondern es ist beabsichtigt, dass alle Änderungen und Modifikationen, die in den Bereich der beigefügten Patentansprüche fallen, umfasst sind.

### Patentansprüche

1. Axial durchströmte Hydraulikmaschine  
 – mit einem Gehäuse (**2**), in dem frei drehbar ein Axiallaufrad (**1**) mit einer Vielzahl von Schaufeln angeordnet ist, und  
 – mit einer Vielzahl von Nuten (**5**), die an der Innenfläche des Gehäuses (**2**) ausgebildet sind, sich in einer Druckgradientenrichtung erstrecken und in Umfangsrichtung des Gehäuses (**2**) fluchtend ausgerichtet sind,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
 – dass die Nuten (**5**) an der Innenfläche einer Gehäuseauskleidung (**6**) ausgebildet sind, die an der Innenfläche des Gehäuses (**2**) zum Verbinden der Einlassseite des Laufrads (**1**) und der Innenseite des Bereichs vorgesehen ist, an der die Schaufeln angeordnet sind, wobei die Gehäuseauskleidung (**6**) in Axialrichtung zur Änderung der axialen Position der Nuten (**5**) bewegbar ist, um die zwischen dem Laufrad (**1**) und den Nuten (**5**) gebildete Beeinflussungslänge zu verändern, wodurch der Durchsatz des in den Nuten (**5**) in der Druckgradientenrichtung strömenden Fluids einstellbar ist.

2. Axialdurchströmte Hydraulikmaschine nach Anspruch 1, bei welcher die gesamte Breite aller Nuten (**5**) etwa 30 bis 50% der Umfangslänge der Innenfläche des Gehäuses (**2**) beträgt, wo die Nuten (**5**) angeordnet sind, während die Tiefe jeder Nut (**5**) etwa 0,5 bis 2% des Durchmessers der Innenfläche des Gehäuses (**2**), wo die Nuten (**5**) angeordnet sind, und etwa 10 bis 30% der Breite der Nut beträgt, und ferner die Länge eines Abschnitts der Nut (**5**), die den Laufradschaufeln gegenüberliegt, etwa 20 bis 50% der Schaufellänge entspricht.

3. Axialdurchströmte Hydraulikmaschine  
 – mit einem Gehäuse (**2**), in welchem frei drehbar ein Axiallaufrad (**1**) mit einer Vielzahl von Schaufeln angeordnet ist, und

– mit einer Vielzahl von Nuten (5), die an einer Innenfläche des Gehäuses (2) vorgesehen sind, sich in einer Druckgradientenrichtung erstrecken und in einer Umfangsrichtung des Gehäuses (2) fluchten, dadurch gekennzeichnet,

– dass die Nuten (5) für ein Verbinden der Einlassseite des Laufrads (1) und der Innenseite eines Bereichs vorgesehen sind, wo die Schaufeln angeordnet sind, und

– dass ein bewegliches Element (6) vorgesehen ist, das zum Öffnen und Schließen der Nuten (5) ausgelegt und angeordnet ist, um die zwischen dem Laufrad (1) und den Nuten (5) gebildete Beeinflussungslänge zu ändern, wodurch der Durchsatz des in den Nuten (5) in der Druckgradientenrichtung strömenden Fluids einstellbar ist.

4. Axialdurchströmte Hydraulikmaschine nach Anspruch 3, bei welcher das bewegliche Element (6) in der Axialrichtung an der Innenfläche des Gehäuses (2) zum Öffnen und Schließen aller Nuten (5) oder eines Teils der Nuten (5) in einem Abschnitt des Gehäuses (2) bewegbar ist, der den Laufradschaufeln gegenüberliegt.

5. Axialdurchströmte Hydraulikmaschine nach Anspruch 3, bei welcher das bewegliche Element (6) zylindrisch und so ausgelegt und angeordnet ist, dass die Bewegung des beweglichen Elements (6) zur Einlassseite die Nuten (5) in dem Abschnitt des Gehäuses (2) öffnet, der den Laufradschaufeln gegenüberliegt.

6. Axialdurchströmte Hydraulikmaschine nach Anspruch 3, bei welcher das bewegliche Element (6) zylindrisch und so ausgelegt und angeordnet ist, dass die Bewegung des beweglichen Elements (6) zu einem Auslass die Nuten (5) in dem Abschnitt des Gehäuses (2) öffnet, der den Laufradschaufeln gegenüberliegt.

7. Axialdurchströmte Hydraulikmaschine nach Anspruch 3, bei welcher die zwischen den Nuten (5) und den Laufradschaufeln gebildete Beeinflussungslänge sich abhängig von der Position des beweglichen Elements (6) ändert, wodurch der Durchsatz des in den Nuten (5) in der Druckgradientenrichtung strömenden Fluids einstellbar ist.

8. Axialdurchströmte Hydraulikmaschine nach Anspruch 3, bei welcher das bewegliche Element (6) von einem beweglichen Teil (2a) des Gehäuses (2) gebildet wird, das dem Laufrad (1) gegenüberliegt, wobei die Bewegung des beweglichen Teils (2a) des Gehäuses (2) in der Axialrichtung die Position der Nuten (5) ändert und die zwischen dem Laufrad (1) und den Nuten (5) gebildete Beeinflussungslänge verändert, wodurch der Durchsatz des in den Nuten (5) in der Druckgradientenrichtung strömenden Fluids einstellbar ist.

9. Axialdurchströmte Hydraulikmaschine nach Anspruch 8, bei welcher ein weiterer Gehäuseteil für eine Überlappung mit dem Abschnitt des beweglichen Gehäuseteils (2a), wo die Nuten (5) angeordnet sind, zum Schließen der Nuten (5) angeordnet ist, wobei durch eine Bewegung des beweglichen Gehäuseteils in der Axialrichtung die Nuten (5) in den Bereich (2) gelegt werden, wo die Schaufeln angeordnet sind.

10. Axialdurchströmte Hydraulikmaschine nach Anspruch 9, welche weiterhin Umfangsverbindungs-nuten (9) aufweist, die die Axialnuten (5) an einer Stromabseite bezogen auf die Hauptstromrichtung verbinden, wobei eine Bewegung des beweglichen Gehäuseteils (2a) in der Axialrichtung die Verbindungs-nuten (5) in dem Bereich freilegt, wo die Schaufeln angeordnet sind.

11. Axialdurchströmte Hydraulikmaschine nach Anspruch 3, bei welcher das bewegliche Element (6) für eine Bewegung in der Axialrichtung in den Nuten (5) zum Öffnen und Schließen des Teils der Nuten (5) ausgelegt ist, der den Schaufeln gegenüberliegt.

12. Axialdurchströmte Hydraulikmaschine nach Anspruch 3, bei welcher das bewegliche Element (6) für eine Bewegung in der Radialrichtung zum Ändern der Tiefe der Nuten (5) ausgelegt ist, wodurch die Menge des in den Nuten (5) strömenden Fluids einstellbar ist.

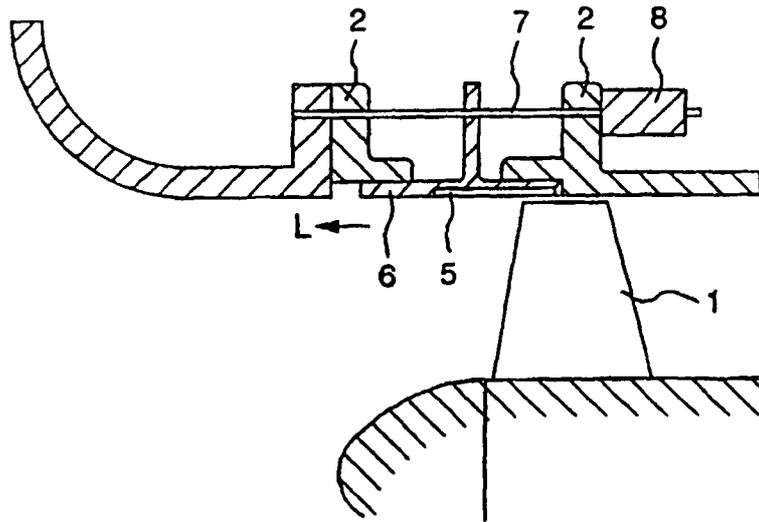
13. Axialdurchströmte Hydraulikmaschine nach Anspruch 3, bei welcher das bewegliche Element (6) an seinem einen Ende zum Ändern der Tiefe der Nuten (5) angelenkt ist, wodurch die Menge des in den Nuten (5) strömenden Fluids einstellbar ist.

14. Axialdurchströmte Hydraulikmaschine nach Anspruch 3, bei welcher das bewegliche Element (6) für eine Bewegung an der inneren Fläche des Gehäuses (2) in einer Umfangsrichtung zum Öffnen und Schließen der Nuten (5) ausgelegt ist.

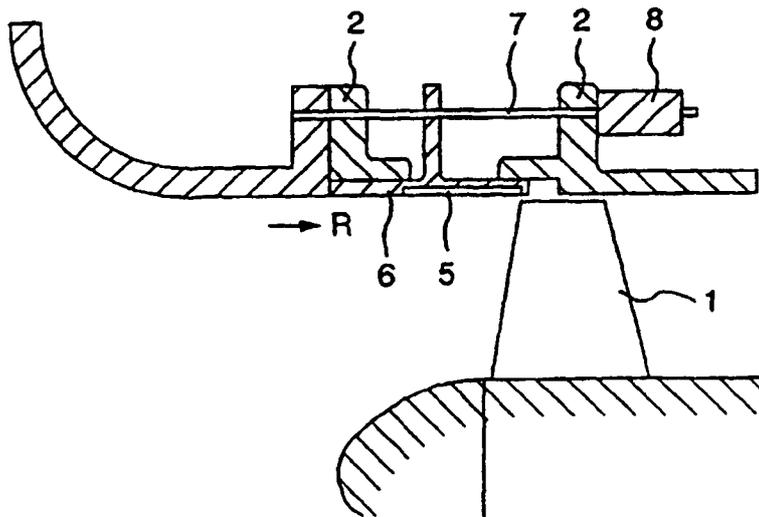
15. Axialdurchströmte Hydraulikmaschine nach Anspruch 1, bei welcher die Breite jeder Nut (5), die in Druckgradientenrichtung ausgebildet ist, gleich oder größer als 5 mm ist, während die Tiefe gleich oder größer als 2 mm ist und außerdem die Breite der Nut (5) größer ist als ihre Tiefe.

Es folgen 13 Blatt Zeichnungen

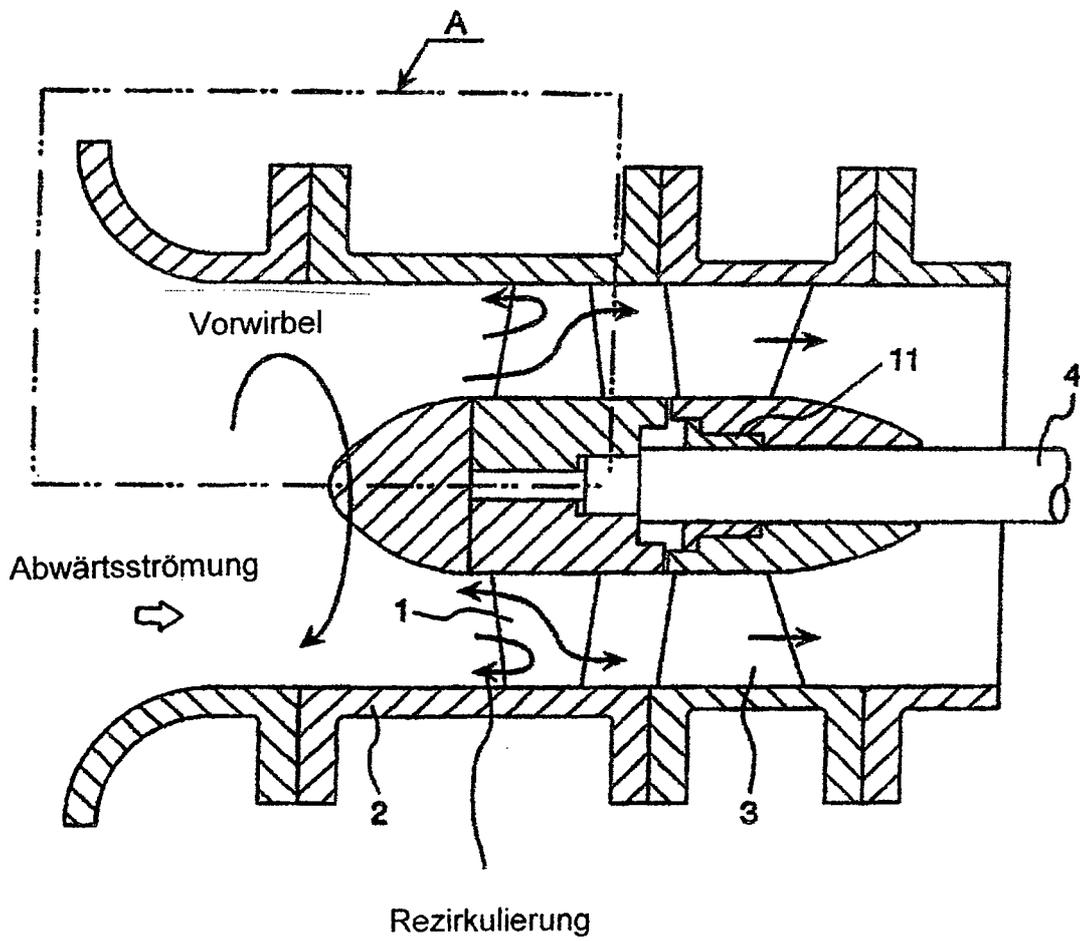
**FIG. 1a**



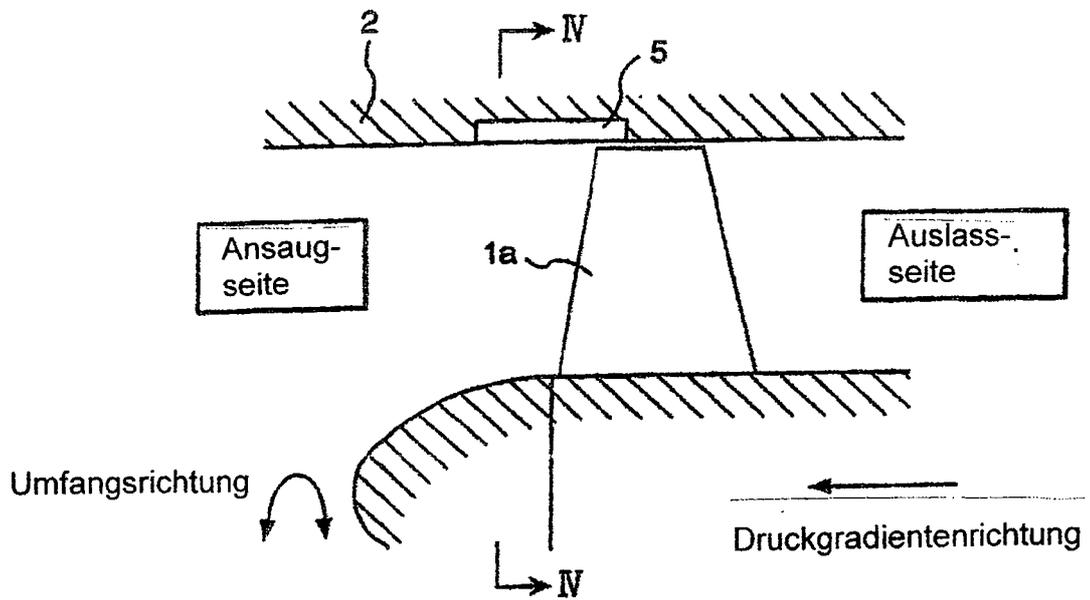
**FIG. 1b**



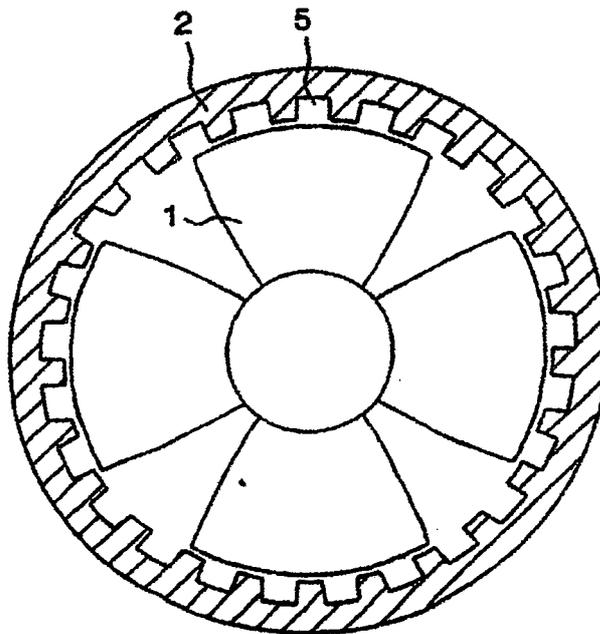
**FIG. 2**



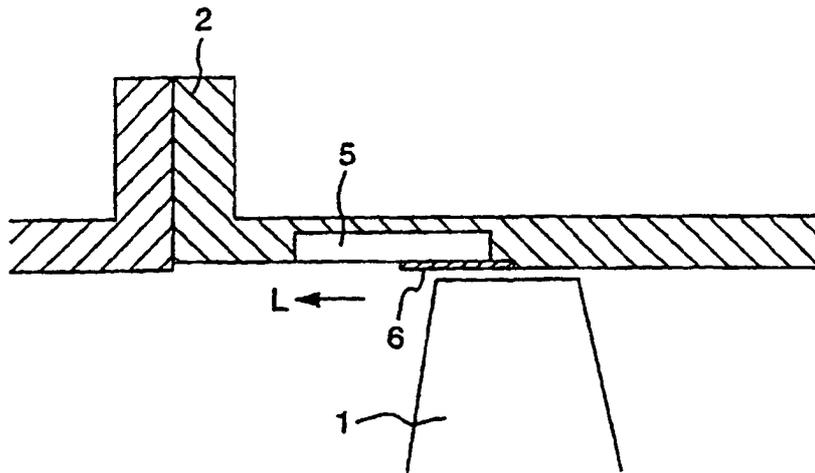
**FIG. 3**



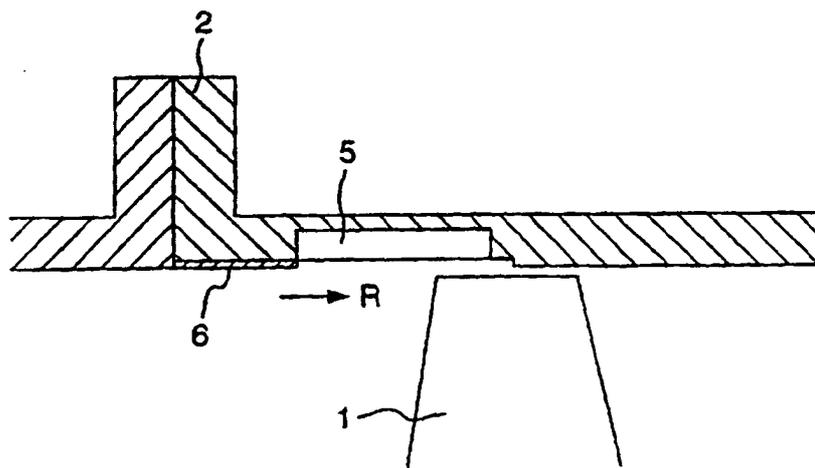
**FIG. 4**



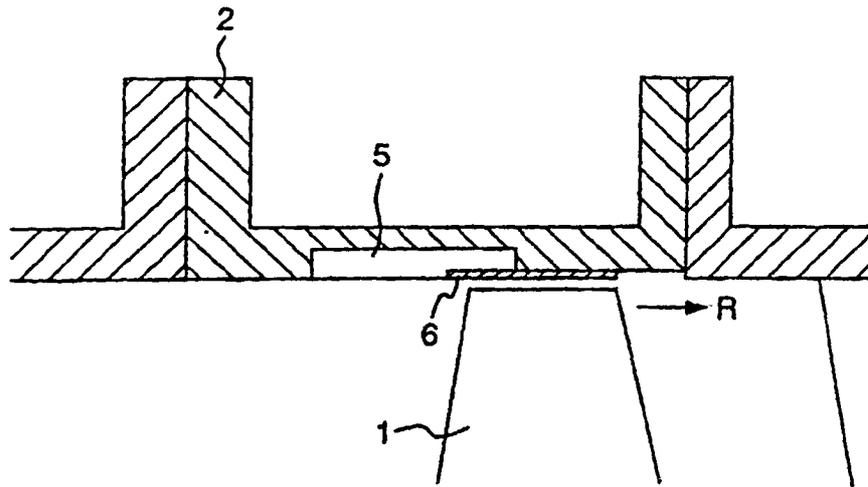
**FIG. 5a**



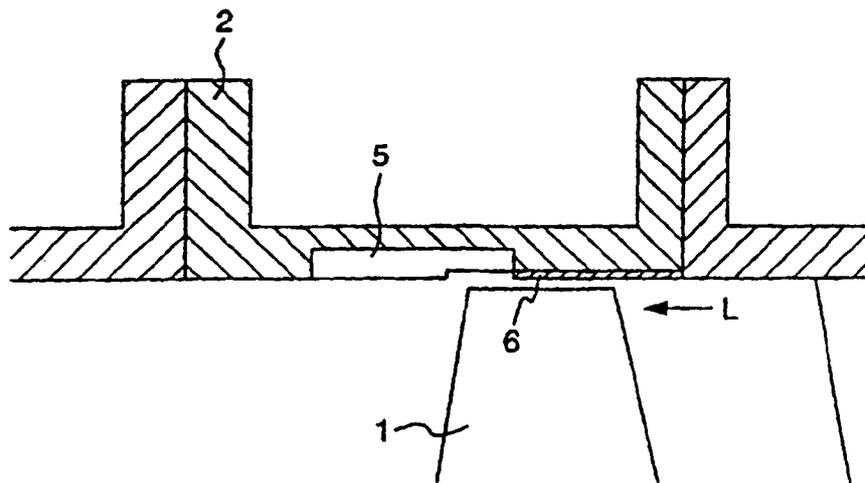
**FIG. 5b**



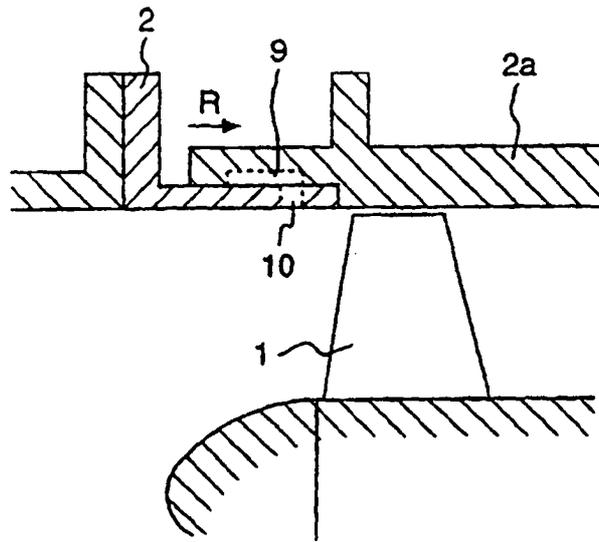
**FIG. 6a**



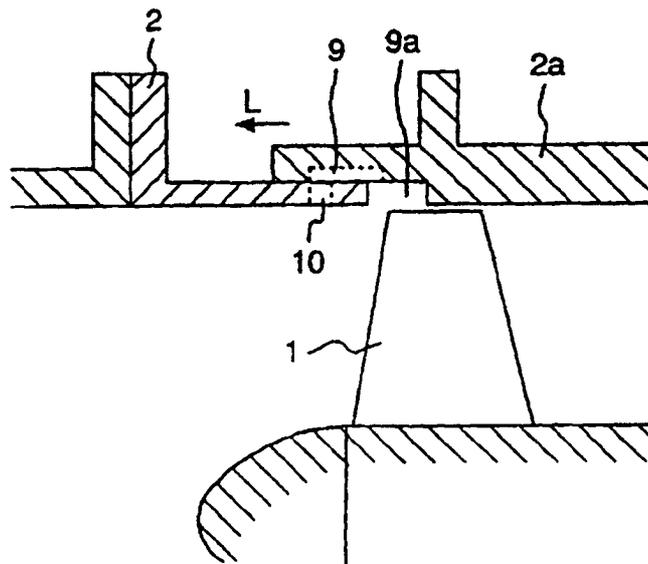
**FIG. 6b**



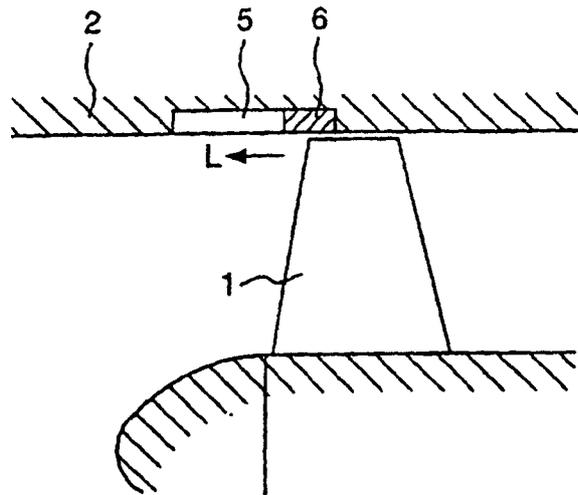
**FIG. 7a**



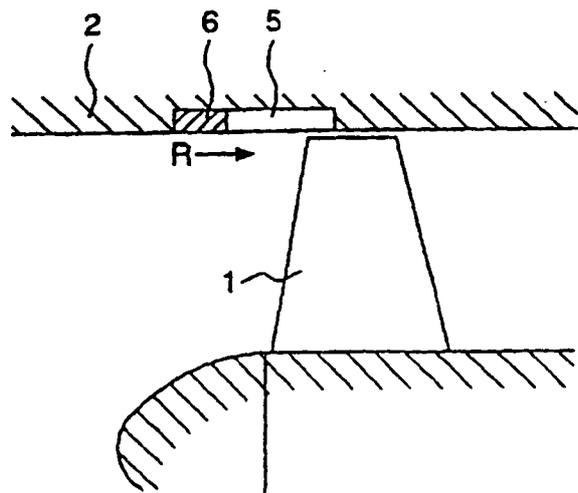
**FIG. 7b**



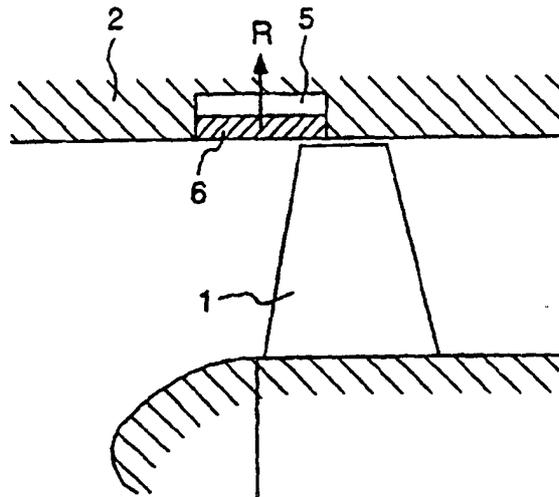
**FIG. 8a**



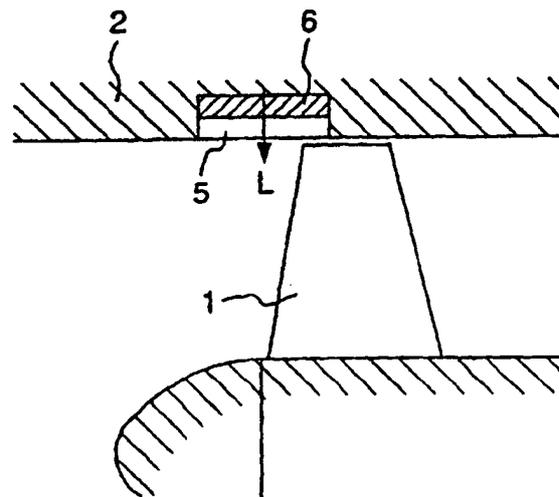
**FIG. 8b**



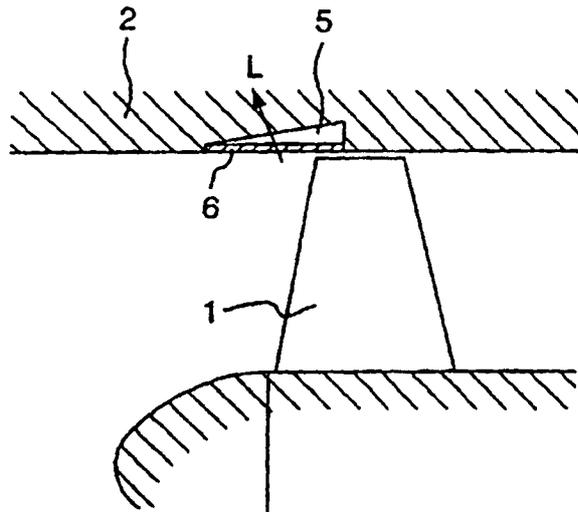
**FIG. 9a**



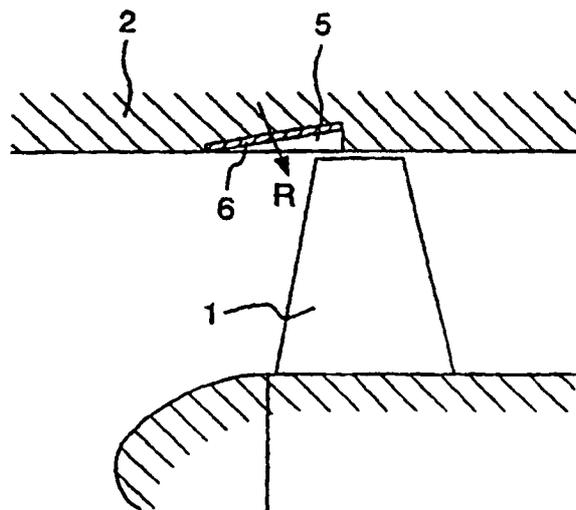
**FIG. 9b**



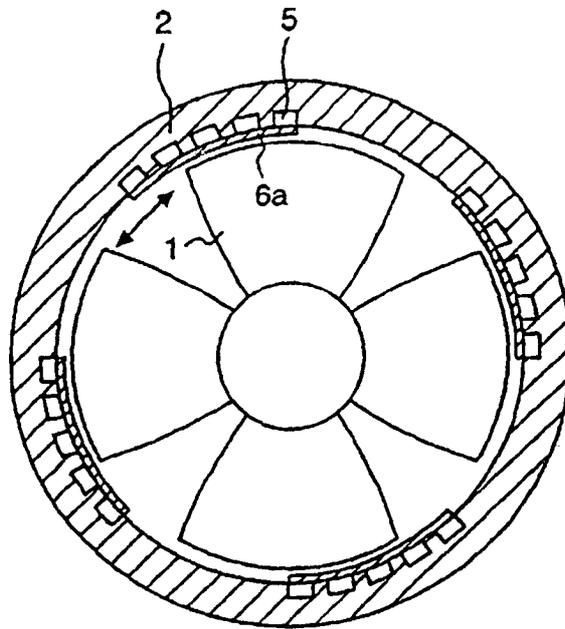
**FIG. 10a**



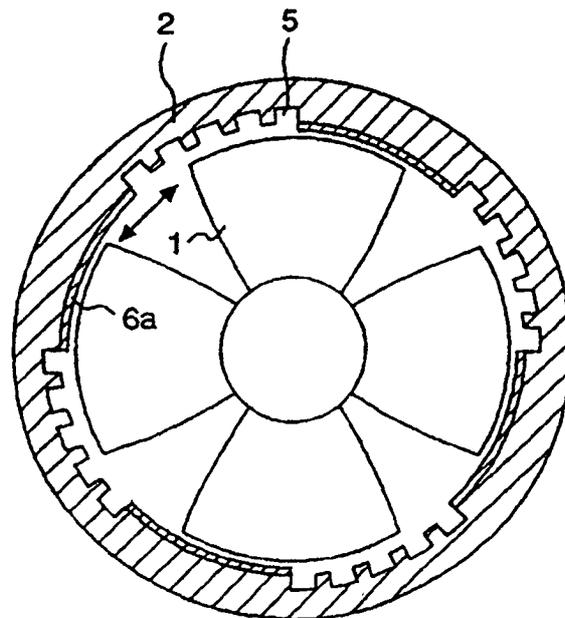
**FIG. 10b**



**FIG. 11a**

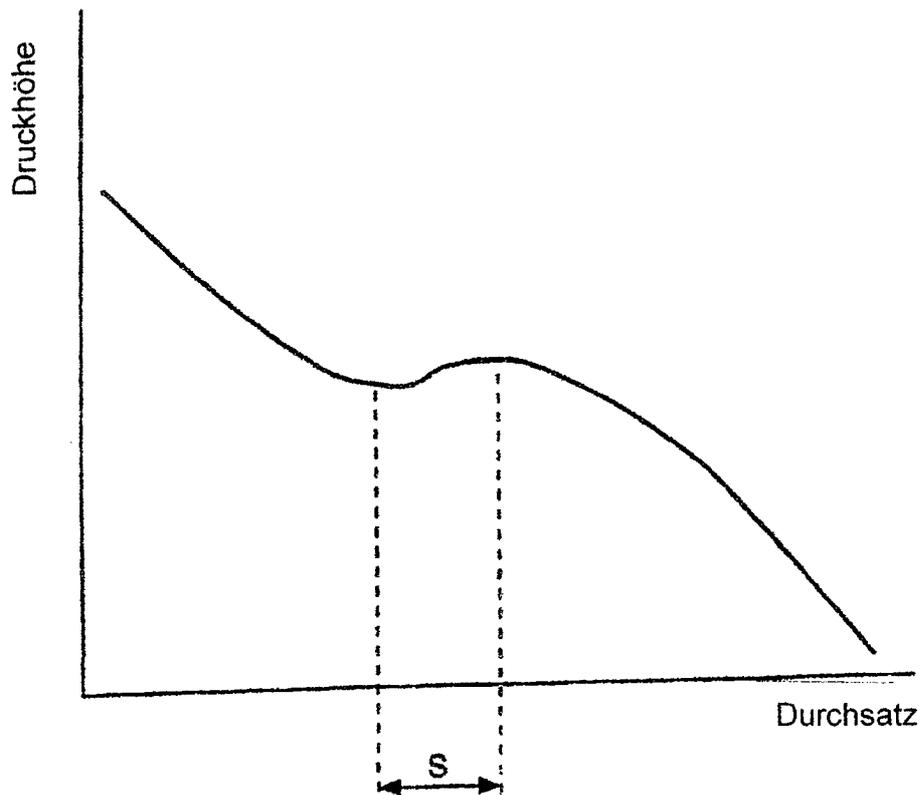


**FIG. 11b**

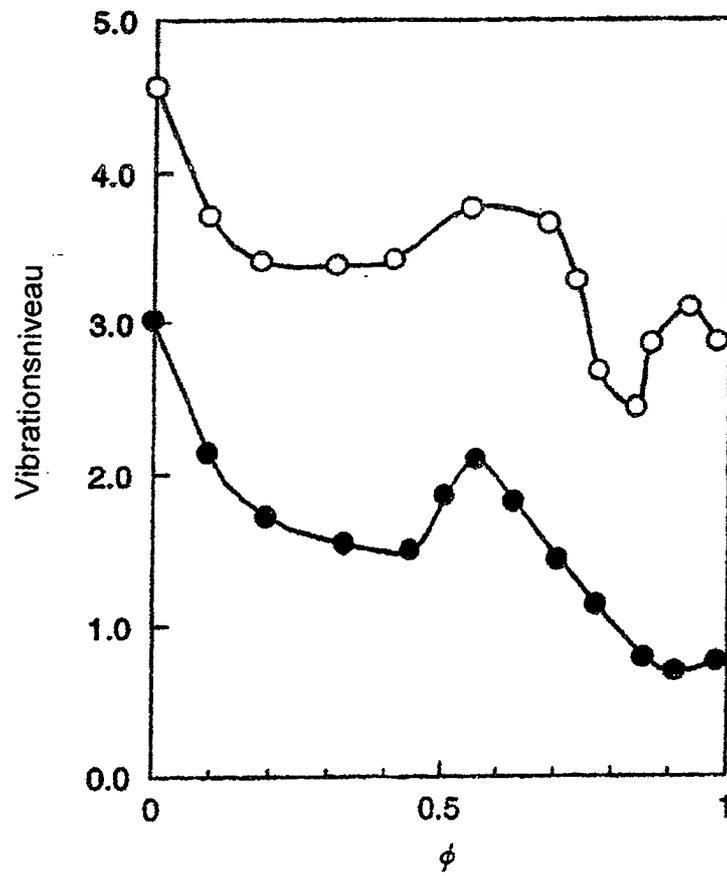


# FIG. 12

Typische Druckhöhen-Durchsatz-Kennlinie einer Turbomaschine



**FIG. 13**



**FIG. 14**

