



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 24 816 T2 2006.01.26**

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 008 758 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 24 816.7**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 309 965.4**

(96) Europäischer Anmeldetag: **10.12.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **14.06.2000**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **20.04.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **26.01.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F04D 27/02 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

**208355            10.12.1998        US**

(73) Patentinhaber:

**United Technologies Corp., Hartford, Conn., US;  
Pratt & Whitney Canada Inc., Longueuil, Quebec,  
CA**

(74) Vertreter:

**Klunker, Schmitt-Nilson, Hirsch, 80797 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB**

(72) Erfinder:

**Barnett, Mark, West Hartford, US; Graf, Martin,  
Stamford, US; Sprout, William D., Tolland, US;  
Raw, John A., Burlington, Ontario L7L2A5, CA;  
Sharma, Om, South Windsor, US**

(54) Bezeichnung: **Fluidumverdichter**

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

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft stabilitäts-erhöhende Gehäuseausbildungen für Fluidverdichter, wie beispielsweise die Verdichter und Bläser, die in Turbinenmaschinen verwendet werden, und insbesondere Gehäuseausbildungen, die die Entwicklung potentiell destabilisierender Wirbel in der Nähe der Spitzen der Verdichterlaufschauflern verhindern.

**[0002]** Zentrifugal- und Axialströmungsverdichter weisen einen Fluideinlass, einen Fluidauslass und eine oder mehrere Anordnungen von Verdichterlaufschauflern auf, die von einer rotationsfähigen Nabe oder Welle nach außen ragen. Ein Gehäuse, dessen innere Oberfläche die äußere Grenze eines Fluidströmungswegs definiert, umgibt die Laufschauflernanordnungen. Jede Verdichterlaufschaufler erstreckt sich über den Strömungsweg, so dass die Laufschauflerspitzen in der Nähe der äußeren Strömungsweggrenze sind und einen kleinen Spalt lassen, um ein Rotieren der Welle und der Laufschauflern zu ermöglichen. Während des Betriebs drückt der Verdichter einen Strom von Arbeitsmediumfluid und treibt das Fluid, so dass es von einem Bereich mit relativ niedrigem Druck am Verdichtereinlass zu einem Bereich mit einem relativ hohem Druck an dem Verdichterauslass strömt.

**[0003]** Weil Verdichter das Arbeitsmediumfluid zwingen, gegen einen entgegenwirkenden Druckgradienten zu strömen (d.h. in Richtung zunehmenden Drucks), sind sie für Stall, eine lokalisierte dynamische Instabilität des Fluids, die lokal die Fluidströmung durch den Verdichter behindert, und Pumpen, bei dem es sich um eine dynamische Instabilität des Fluids in einem größeren Maßstab handelt, welches durch eine Fluidströmungsumkehr und Auswerfen des Arbeitsmediumfluids aus dem Verdichtereinlass gekennzeichnet ist, anfällig. Verdichter-Stall und -Pumpen (Compressor stall and surge) sind offensichtlich unerwünscht. Wenn der Verdichter ein Bauteil eines Flugzeug-Gasturbinentriebwerks ist, ist ein Pumpen besonders unwillkommen, da es einen abrupten Verlust an Triebwerksschub bewirkt und kritische Triebwerksbauteile beschädigen kann.

**[0004]** In einer Turbinenmaschine kann Pumpen oder Stall durch einen von einer Anzahl von Einflüssen hervorgerufen werden, darunter Fluidleckage durch den Spalt, der jede Laufschauflerspitze von dem Verdichtergehäuse separiert. Zu einer Leckage kommt es, weil der der konkaven oder Druck-Oberfläche einer jeden Laufschaufler benachbarte Fluiddruck den Druck entlang der konvexen oder Sog-Oberfläche einer jeden Schaufler überschreitet. Das leckströmende Fluid wechselwirkt mit dem durch den primären Strömungsweg strömenden Fluid, und bildet einen Fluidwirbel. Die Stärke des Wirbels hängt teilweise von der Größe des Spiel-

spalts und von dem Druckunterschied oder der Last zwischen der Sog- und der Druck-Seite der Laufschaufler ab. Verdichter können üblicherweise Wirbel von begrenzter Stärke tolerieren. Jedoch kann ein örtlich übermäßiger Spalt oder eine örtlich übermäßige Belastung von einer oder mehreren Laufschauflern einen Wirbel erzeugen, der kräftig genug ist, um ernsthaft den Fortgang von Fluid durch den Strömungsweg zu unterbrechen und zu einem Pumpen oder Stall führt.

**[0005]** Verdichterkonstrukteure bemühen sich, Verdichter zu entwickeln, die gegen möglicherweise destabilisierende Einflüsse höchst tolerant sind. Ein Weg, auf dem die Konstrukteure die Verdichterstabilität verbessern, ist das Inkorporieren spezieller Merkmale, die als Gehäuseausbildungen bezeichnet werden, in das Verdichtergehäuse. Eine Art von stabilitätsverbessernder Gehäuseausbildung ist eine Reihe von umfangsmäßig verlaufenden Nuten, wobei jede im Wesentlichen rechtwinklig zur Strömungsrichtung (der Hauptrichtung der Fluidströmung in dem Strömungsweg) ist. Die U.K. Patentanmeldung 2,158,879 zeigt eine derartige Gehäuseausbildung, arbeitet jedoch nicht an dem physikalischen Mechanismus, der für die Verbesserung der Stabilität verantwortlich ist. Man nimmt an, dass die Nuten ein Mittel sind, damit das Fluid den Strömungsweg an einer Position verläßt, wo die Laufschauflerbelastung stark ist und der lokale Druck hoch ist, umfangsmäßig an eine Position migriert, wo der Druck gemäßigter ist und wieder in den Strömungsweg eintritt. Das migrierte Fluid ist somit besser positioniert, um sich gegen den entgegenwirkenden Druckgradienten in dem Strömungsweg zu behaupten. Außerdem trägt die Fluidmigration dazu bei, die lokal kräftige Laufschauflerbelastung zu mindern. Man hat auch beobachtet, dass die Anwesenheit der Nuten die Verdichtereffizienz verschlechtert, vermutlich weil Fluid den Strömungsweg in einer Richtung wieder betritt, die im Wesentlichen rechtwinklig zu der Strömungsrichtung ist, was zu Wirkungsgradverlusten führt, wenn das wieder eintretende Fluid mit dem Fluidstrom im Strömungsweg kollidiert und sich mit diesem turbulent vermischt. Das wieder eintretende Fluid, dem jegliche merkliche eigene Strömungsrichtungskomponente fehlt, kann auch tendenziell unvorteilhaft in die Nut hinein und aus dieser heraus rezirkulieren.

**[0006]** Eine andere Art von Gehäuseausbildung ist im US-Patent Nr. 5,762,470 und U.K. Patentanmeldung 2,041,149 gezeigt. Diese Patente beschreiben Verdichter, die eine Verzweigungseinrichtung verwenden, um umfangsmäßige Druckungleichförmigkeiten abzuschwächen, die möglicherweise mit destabilisierenden Spitzenleckage-Strömungswirbeln einher gehen. Die in dem US-Patent 5,762,470 gezeigte Verzweigungseinrichtung ist ein ringförmiger Hohlraum, der mit dem Strömungsweg mittels einer Reihe von Schlitzen kommuniziert, die durch ein Git-

ter von Rippen getrennt sind. Die U.K. Patentanmeldung 2,041,149 beschreibt einen Zentrifugalverdichter mit einer Verzweigungseinrichtung, die mit einem Strömungsweg durch einen Satz geschlitzter diffuser Leitelemente kommuniziert. Die Anmeldung beschreibt auch einen Axialströmungsverdichter mit einer Verzweigungseinrichtung radial außerhalb von dem Verdichterströmungsweg und eine Verzweigungseinrichtungskammer radial innerhalb des Strömungswegs. Ein in Erstreckungsrichtung laufender Schlitz an der Sog-Oberfläche einer jeden Verdichterlaufschaukel bringt der Verdichterströmungsweg in Fluidverbindung mit der inneren Verzweigungseinrichtungskammer. Die Verdichterleitelemente weisen ähnliche Schlitze auf, welche den Strömungsweg mit der äußeren Verzweigungseinrichtung verbinden. Trotz der möglichen Verdienste der beschriebenen Anordnungen bringen sie klar ein Maß an unerwünschter Herstellungskomplexität in den Verdichter ein.

**[0007]** Ein weiterer Typ von Gehäuseausbildung ist in den US-Patenten 5,282,718, 5,308,225, 5,431,533 und 5,607,284 gezeigt, die alle auf die vorliegende Anmelderin übertragen wurden. Diese Patente beschreiben Abwandlungen einer Turbinenmaschinen-Gehäuseausbildung, die als beschaukelte Passage-Gehäuseausbildung (VPCT – Vaned Passage Casing Treatment) bekannt ist. Die beschriebenen Gehäuse weisen einen Passageweg auf, der mit einem Satz von Verwirbelungsverhinderungs-Leitelementen versehen ist. Fluidentnahme- und Injektionspassagen bringen den beschaukelten Passageweg in Fluidverbindung mit dem Verdichterströmungsweg. Während des Betriebs strömt Fluid mit dem verringerten axialen Impuls aber höherem tangentialen Impuls aus dem Strömungsweg durch die Entnahmepassagen durch den Leitelementesatz und dann zurück in den Strömungsweg durch die Injektionspassage. Der Leitelementesatz lenkt das Fluid um und ändert seinen tangentialen Impuls in einen erhöhten axialen Impuls, so dass das injizierte Fluid vorteilhafter gerichtet ist als das entnommene Fluid.

**[0008]** Trotz der Verdienste der beschaukelten Passagen-Gehäuseausbildung ist sie nicht ohne einige Nachteile. Der beschaukelte Passageweg verbraucht eine merkliche Menge an Raum, ein deutlicher Nachteil betrachtet man die Raumeinschränkungen, die für Luft- und Raumfahrtanwendungen typisch sind. Die Ausbildung stellt auch Herstellungs- und Fabrikationsherausforderungen dar. Außerdem kann Schutzbereiche des beschaukelten Passagewegs verstopfen und die Effizienz der Ausbildung beeinträchtigen. Schließlich verringert die Ausbildung die Verdichtereffizienz, indem sie es druckbeaufschlagtem Fluid erlaubt, in einen Bereich niedrigeren Drucks in den Verdichterströmungsweg zu rezirkulieren. Den Effizienzverlust kann man umgehen, indem man ein geregeltes System verwendet, wie es in dem US-Patent

5,431,533 beschrieben ist. Jedoch bringt dieses geregelte System zusätzliche Komplexität ein.

**[0009]** Schließlich beschreibt das US-Patent 5,586,859, welches auch auf die vorliegende Anmelderin übertragen wurde, eine "strömungsausgerichtete" Gehäuseausbildung, bei der ein umfangsmäßig verlaufender Sammelraum mit dem Strömungsweg durch diskrete Entnahme- und Injektionspassagen kommuniziert. Die Ausbildung mit ausgerichteter Strömung rezirkuliert, wie VPCT druckbeaufschlagtes Fluid in einen Bereich niedrigeren Drucks und bringt das Fluid in den Strömungsweg in einer vorgeschriebenen Richtung ein, um optimale Leistung zu erzielen. Jedoch leidet die Gehäuseausbildung ausgerichteter Strömung an vielen der gleichen Nachteile wie VPCT.

EP 0 719 908 beschreibt ein Gehäuse mit mit Leitelementen versehene Passagen für Verdichterlaufschaukeln.

US 4,714,406 beschreibt ein Gasturbinenmaschinengehäuse.

US 5,137,419 beschreibt eine Pumpgrenzbereichs-Verbesserungsmaßnahme für einen Axialströmungsverdichter.

**[0010]** Trotz der Existenz der vorangehend beschriebenen Gehäuseausbildungen bemühen sich Verdichterkonstrukteure kontinuierlich um verbesserte Wege zum zuverlässigen Verbessern der Verdichterstabilität und zum Minimieren irgendwelcher begleitender Effizienzverluste ohne die Herstellung des Verdichters oder seiner Bauteile zu komplizieren.

**[0011]** Gemäß einem ersten Aspekt liefert die vorliegende Erfindung einen Fluidverdichter nach Anspruch 1.

**[0012]** Gemäß einem zweiten Aspekt liefert die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Steigern der Fluidströmungsstabilität gemäß Anspruch 15.

**[0013]** In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist eine Verdichtergehäuseausbildung eine oder mehrere umfangsmäßig verlaufende Nuten auf, die jeweils indigenes Fluid aus dem Verdichterströmungsweg an einer Fluidentnahmestelle erhalten und indigenes Fluid in den Strömungsweg an einer Fluidinjektionsstelle abgeben. Eine Fluidentnahme erfolgt an einer Stelle, wo der Fluiddruck in dem Verdichterströmungsweg relativ hoch und der Impuls in Strömungsrichtung des Fluids relativ niedrig ist. Die Fluidinjektion erfolgt an einer Stelle, umfangsmäßig versetzt von der Entnahmestelle, wo der Strömungsweg-Fluiddruck moderater ist und der Impuls des Fluids in Strömungsrichtung relativ hoch ist. Somit leitet jede Nut Fluid umfangsmäßig an einen Ort, wo das Fluid besser in der Lage ist, gegen den entgegenwirkenden Druckgradienten des Strömungswegs voran zu kommen. Jede Nut ist

so ausgerichtet, dass das abgebende Fluid in den Strömungsweg mit einer Strömungsrichtungskomponente eintritt, welche eine effiziente Integration des eingebrachten Fluids in den Strömungsweg-Fluidstrom fördert. Die Strömungsrichtungskomponente wirkt auch jeglicher Tendenz des eingebrachten Fluids entgegen, örtlich in die Nut hinein und aus der Nut heraus zu rezirkulieren.

**[0014]** Die erfindungsgemäße Gehäuseausbildung, zumindestens der bevorzugten Ausführungsform, ist in vielfacher Hinsicht vorteilhaft. Sie verbessert die Verdichterstabilität ohne übermäßig die Verdichtereffizienz zu belasten. Die Ausbildung ist einfach und kann so ohne merklich zu den Kosten des Verdichters beizutragen oder seine Herstellung übermäßig zu komplizieren, inkorporiert werden. Anders als manche Gehäuseausbildungen des Standes der Technik ist es relativ unwahrscheinlich, dass die erfindungsgemäße Ausbildung durch Fremdkörper verstopft wird. Die Ausbildung kann passiv arbeiten und vermeidet das Gewicht, das Volumen, die Kosten und die Komplexität eines Kontrollsystems. Die Nuten-Ausbildung ist räumlich effizient, was sie leicht anwendbar auf Kernmaschinenverdichter einer Turbinenmaschine macht.

**[0015]** Einige bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung werden nun nur beispielhaft mit Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben, für die gilt:

**[0016]** [Fig. 1](#) ist eine schematische Seiten-Schnittansicht, die typisch für einen Axialströmungsverdichter oder -bläser für eine Turbinenmaschine ist, und zeigt ein mit Nuten versehenes Gehäuse gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung.

**[0017]** [Fig. 1A](#) ist eine Schnittansicht einer Verdichterlaufschaufel, die in der Richtung 1A-1A von [Fig. 1](#) genommen ist.

**[0018]** [Fig. 2](#) ist eine schematische perspektivische Ansicht, die typisch für einen Axialströmungsverdichter oder -bläser für eine Turbinenmaschine ist und zeigt ein Gehäuse mit Nut gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung.

**[0019]** [Fig. 2A](#) und [Fig. 2B](#) sind Ansichten ähnlich zur [Fig. 1](#) und zeigen schematisch die Verteilung der Fluidströmung in eine Gehäuseausbildungsnut an einer Entnahmestelle und aus der Gehäuseausbildungsnut an der Injektionsstelle, die umfangsmäßig von der Entnahmestelle versetzt ist.

**[0020]** [Fig. 3](#) bis [Fig. 5](#) sind Ansichten ähnlich zur [Fig. 1](#) und zeigen alternative Ausführungsformen des Gehäuses mit Nut.

**[0021]** [Fig. 6](#) und [Fig. 6A](#) sind schematische Sei-

tenansichten einer Turbinenmaschine, wobei das Maschinengehäuse teilweise weggebrochen ist, um einen Zentrifugalverdichter zu exponieren, der ein Gehäuse mit Nut der vorliegenden Erfindung verwendet.

**[0022]** [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) sind grafische Darstellungen, die den Einfluss des Gehäuses mit Nut auf Verdichterstabilität bzw. -effizienz zeigen.

**[0023]** [Fig. 1](#) zeigt schematisch einen Teil eines Axialströmungsverdichters, der repräsentativ für die ist, die in Turbinenmaschinen verwendet werden. Im Zusammenhang einer Turbinenmaschine bezeichnet der Begriff "Verdichter", so wie er in dieser Beschreibung verwendet wird, sowohl den Kerntriebwerksverdichter als auch die Bläser mit relativ großem Durchmesser und niedrigem Verdichtungsverhältnis, die bei vielen Triebwerksmodellen verwendet werden. Der Verdichter weist eine Nabe **12**, die um eine Verdichterrotationsachse **14** rotationsfähig ist, und eine Anordnung von Laufschaufeln **16** auf, die von der Nabe radial nach außen ragen. Die Laufschaufeln **16** erstrecken sich über einen Verdichterströmungsweg **18**, der sich im Wesentlichen parallel zur Rotationsachse **14** erstreckt und einen Luftstrom oder einen Strom eines anderen Arbeitsmediumfluids **20** durch den Verdichter kanalisiert. Jede Laufschaufel hat eine Wurzel **22**, eine Spitze **24**, eine Vorderkante **26** und eine Hinterkante **28**.

**[0024]** Wie man am besten in der [Fig. 1A](#) sieht, hat jede Laufschaufel eine Sog-Oberfläche und eine Druck-Oberfläche **32**, **34**, welche sich von der Vorderkante zu der Hinterkante erstrecken und voneinander eine in Axialrichtung nicht gleichförmige Laufschaufeldicke  $T$  beabstanden sind. Jede Laufschaufel hat auch eine mittlere Wölbungslinie MCL (Mean Chamber Line), bei der es sich um die Punkteschar in der Mitte zwischen der Druck- und der Sog-Oberfläche gemessen rechtwinklig zur mittleren Wölbungslinie handelt. Eine Profilschneidlinie  $C$ , die eine Punkteschar ist, die sich linear von der Vorderkante zu der Hinterkante erstreckt, verbindet die Enden der mittleren Wölbungslinie. Eine projizierte Profilschneidlinie  $C_p$  ist die Profilschneidlinie  $C$  projiziert auf eine Ebene, welche die Rotationsachse **14** enthält.

**[0025]** Der Verdichter weist auch ein Gehäuse **36** mit einer radial inneren Strömungswegoberfläche **38** auf. Die Strömungswegoberfläche umgibt die Laufschaufelanordnung und ist in Erstreckungsrichtung oder radial von den Laufschaufelspitzen einen kleinen Spielspalt  $G$  beabstanden. Das Gehäuse weist eine umfangsmäßig kontinuierliche Nut **40** auf, die durch eine strömungsaufwärtige und eine strömungsabwärtige Wand **42**, **44**, die axial voneinander beabstanden sind, sich jeweils von einem Nutboden **46** erstrecken und an entsprechenden strömungsaufwärtigen und strömungsabwärtigen Lippen **48**, **50** an

den Strömungsweg anschließen, definiert ist. Die Lippen definieren einen Nutmund **54**, welcher die Nut in Fluidverbindung ausschließlich mit dem Strömungsweg **18** bringt. Die strömungsaufwärtige Wand **42** ist mit einem spitzen Winkel  $\theta_A$  relativ zur Strömungswegoberfläche **38** orientiert, und die strömungsabwärtige Wand **44** ist mit einem stumpfen Winkel  $\theta_O$  relativ zu der Strömungswegoberfläche orientiert.

**[0026]** [Fig. 2](#) zeigt die Fluidströmungsmuster, die der Nut-Gehäuseausbildung zuweisbar sind. Die Laufschaufelanordnung, welche durch die einzelne Laufschaufel **16** repräsentiert ist, rotiert in Richtung R, um den Fluidstrom **20** mit Druck zu beaufschlagen, und zwingt das Fluid in eine Strömung durch den Strömungsweg gegen einen entgegenwirkenden Druckgradienten. Wenn die Druckbelastung des Laufschaufelspitzenbereichs übermäßig ist, schafft die Nut **40** einen Weg, damit indigenes Fluid umfangsmäßig von dem Bereich hoher Belastung (und korrespondierend hohem Druck und geringem Impuls in Strömungsrichtung) zu einem anderen Bereich migriert, wo die örtliche Belastung gemäßiger ist, der Strömungswegdruck weniger stark ist und der Impuls des Fluids in Strömungsrichtung größer ist. So wie er hier verwendet wird, bezeichnet der Begriff "indogenes Fluid" Fluid in der Nut und in dem Strömungsweg in der Nähe des Fluids im Gegensatz zu Fluid, welches von einem entfernten Bereich des Strömungswegs oder von einer externen Quelle geliefert wird. Insbesondere verläßt Fluid den Strömungsweg und strömt in die Nut an einer Entnahmestelle **56**, bewegt sich umfangsmäßig, wie durch die Fluidströmungspfeile **20a** gezeigt, und strömt in den Strömungsweg an einer Injektionsstelle **58** aus, die axial im Wesentlichen mit der Entnahmestelle **56** ausgerichtet ist und umfangsmäßig von dieser versetzt ist. Das Fluid strömt, wie durch Pfeile **20a** angezeigt, weil der Druck des Fluids in dem Strömungsweg an der Entnahmestelle höher, ist als er es an der Injektionsstelle ist. Insbesondere ist der Strömungswegfluiddruck an der Injektionsstelle niedriger als der Strömungswegfluiddruck in der Nachbarschaft der Druck-Oberfläche der Laufschaufel an der Entnahmestelle. Das migrierte Fluid ist somit bessert positioniert, gegen den entgegenstehenden Druckgradienten des Strömungswegs voran zu kommen. Die umfangsmäßige Fluidmigration entlastet auch die übermäßige Laufschaufelspitzenbelastung an der Entnahmestelle und verringert die Wahrscheinlichkeit von durch Spitzenwirbel induzierten Verdichter-Stall oder durch Spitzenwinkel induziertes Verdichter-Pumpen.

**[0027]** Die Nutwände sind mit Winkeln  $\theta_A$  und  $\theta_O$  geneigt, so dass Fluid, welches an der Injektionsstelle in den Strömungsweg gelangt, dies mit einer merklichen Richtungskomponente in der Strömungsrichtung tut. Im Ergebnis sind die hohen Vermischungs-

verluste, die sich durch eine transversale Fluidinjektion ergeben können, zumindestens teilweise vermieden. Außerdem trägt die Neigung der Nut und die damit einher gehende Richtungskomponente der Fluidabgabe in Strömungsrichtung dazu bei, jegliche Tendenz des Fluids zu überwinden, unvorteilhaft in die Nut hinein und aus der Nut heraus zu rezirkulieren. Somit bietet die erfindungsgemäße Gehäuseausbildung eine Stabilitätsverbesserung ohne eine signifikante Einbuße der Verdichtereffizienz auszuüben.

**[0028]** [Fig. 2A](#) und [Fig. 2B](#) zeigen, dass die axiale Verteilung von Fluidströmung in die Nut an der Entnahmestelle **56** ([Fig. 2A](#)) von der Verteilung der Fluidströmung aus der Nut an der Injektionsstelle **58** ([Fig. 2B](#)) verschieden sein kann. An der Entnahmestelle **56** nimmt der Strömungswegfluiddruck von  $P_{1E}$  in der Nähe der strömungsaufwärtigen Wand **42** der Nut auf  $P_{2E}$  in der Nähe der strömungsabwärtigen Wand **44** der Nut zu. Da die Fluidströmung in die Nut durch höheren Strömungswegdruck dominiert ist, ist die Massenströmungsrate des in die Nut gelangenden Fluids vorzugsweise in Richtung der strömungsabwärtigen Wand **44** verteilt, wie es durch das schematische Strömungsverteilungsdiagramm suggeriert ist, welches an dem Mund **54** der Nut an [Fig. 2A](#) überlagert ist. An der Injektionsstelle **58** nimmt der Strömungswegfluiddruck von  $P_{1I}$  in der Nähe der strömungsaufwärtigen Wand auf  $P_{2I}$  in der Nähe der strömungsabwärtigen Wand zu. Der niedrigere Druck  $P_{2I}$  dominiert die Fluidabgabe an der Injektionsstelle, indem er einen geringeren Widerstand als der höhere Druck  $P_{2I}$  offeriert. Folglich ist die Fluidabgabe in den Strömungsweg vorzugsweise in Richtung der strömungsaufwärtigen Wand **42** verteilt, wie durch das Strömungsverteilungsdiagramm der [Fig. 2B](#) angezeigt. Man sollte erkennen, dass die Verteilungsdiagramme der [Fig. 2A](#) und [Fig. 2B](#) schematisch sind. Die tatsächlichen Fluidströmungsverteilungen sind durch die örtlichen Druckgradienten in Strömungsrichtung an der Entnahme- und Injektionsstelle und durch die Größe des umfangsmäßigen Druckgradienten in dem Strömungsweg beeinflusst. Außerdem sollte man erkennen, dass die tatsächliche Fluidodynamik extrem komplex ist und dass die Verteilungsdiagramme die vorhersehenden Fluidströmungsmuster anzeigen. In der Praxis kann etwas Fluid von der Nut an der Entnahmestelle austreten und kann in die Nut an der Injektionsstelle gelangen.

**[0029]** Das Positionieren und die Länge des Nutmunds, die Nutorientierung und die Nuttiefe variieren abhängig von den Betriebseigenschaften und den physikalischen Limitierungen des Verdichters. Dennoch kann man einige generelle Anmerkungen machen.

**[0030]** Es wird hauptsächlich auf die [Fig. 1](#) Bezug genommen. Der Nutmund **54** sollte so positioniert sein, dass seine strömungsabwärtige Lippe **50** nicht

weiter stromungsaufwärts als die Vorderkante **26** der Laufschaufelanordnung an den Laufschaufelspitzen ist. Eine derartige Plazierung positioniert die Nut derart, dass sie Strömungswegfluid aufnimmt, welches über die Laufschaufelspitzen leckströmt, und droht, sich zu einem potentiell destabilisierenden Spitzenwirbel zu entwickeln. Da sich Spitzenleckagewirbel strömungsabwärts von den Laufschaufelhinterkanten erstrecken, kann der Mund so positioniert sein, dass seine strömungsaufwärtige Lippe **48** strömungsabwärts von der Hinterkante **28** der Laufschaufelanordnung an den Laufschaufelspitzen ist. Jedoch wird angenommen, dass die Nut am effizientesten ist, wenn ihre strömungsaufwärtige Lippe **48** nicht weiter strömungsabwärts als die Hinterkante **28** der Laufschaufelanordnung an den Laufschaufelspitzen ist. Deshalb wird erwartet, dass man die besten Vorteile erhält, wenn der Nutmund so positioniert ist, dass mindestens ein Teil des Mundes sich in Strömungsrichtung gemeinsam mit der projizierten Spitzenprofilsehne  $C_p$  erstreckt, d.h. die strömungsabwärtige Lippe **50** der Nut nicht weiter strömungsabwärts als die Vorderkante **26** der Laufschaufelanordnung an den Laufschaufelspitzen ist und die strömungsaufwärtige Lippe **48** nicht weiter strömungsabwärts als die Hinterkante **28** der Laufschaufelanordnung an den Laufschaufelspitzen ist.

**[0031]** Die axiale Länge  $L$  des Nutmundes **54** sollte lang genug sein, um sicherzustellen, dass der Mund eine Menge an Strömungswegfluid fangen kann, die ausreicht, übermäßige Laufschaufellast zu mildern. Jedoch sollte die Mundlänge klein genug sein, um eine Fluidablösung von der Strömungswegoberfläche und damit einher gehende dynamische Fluidverluste auszuschließen, da der Mund eine Diskontinuität in der Strömungswegoberfläche **38** darstellt.

**[0032]** Die Nutorientierung hängt sowohl von fluid-dynamischen Überlegungen als auch von Herstellungsüberlegungen ab. Wie vorangehend angemerkt, wird die Fluidabgabe in den Strömungsweg vorzugsweise in Richtung der strömungsaufwärtigen Wand **42** verteilt. Folglich beeinflusst die strömungsaufwärtige Wand stark die Richtung der Fluidabgabe. Da es wünschenswert ist, die Strömungsrichtungskomponente der Fluidabgabe zu akzentuieren, sollte der spitze Winkel  $\theta_A$  so klein wie praktisch möglich sein. Die Herstellung eines Gehäuses mit einem kleinen spitzen Winkel  $\theta_A$ , nicht-parallelen Wänden **42**, **44** oder einer anderen komplexen Geometrie kann erleichtert werden, indem man das Gehäuse aus einem vorderen und einem hinteren Teil konstruiert, die an einer Zwischenfläche **59** zusammengepaßt werden. Falls dies gewünscht ist, kann die Nut statt dessen in ein einstückiges Gehäuse maschinell bearbeitet werden. Es hat sich jedoch als schwierig herausgestellt, eine Nut mit einem spitzen Winkel  $\theta_A$  von weniger als etwa  $30^\circ$  maschinell zu bearbeiten. Wenn die Nut in ein einstückiges Gehäuse maschinell bear-

beitet wird, ist es wünschenswert, die Herstellung zu erleichtern, indem man die strömungsaufwärtige und die strömungsabwärtige Wand **42**, **44** parallel zueinander macht, so dass die Nut eine gleichförmige axiale Breite  $W$  hat.

**[0033]** Die Tiefe  $D$  der Nut ist ein Kompromiss zwischen fluiddynamischen Überlegungen, struktureller Gehäuseintegrität, Platzeinschränkungen und Herstellbarkeit. Die Nut muss flach genug sein, dass die strukturelle Integrität des Gehäuses nicht beeinträchtigt wird. Wenn die Nut jedoch zu flach ist, nähert sich die Leistung des Gehäuses an die eines glattwandigen Gehäuses an – eines, welches die Verdichtereffizienz bewahrt, jedoch nicht die Toleranz des Verdichters gegen Spitzenwirbel verbessert. Im Kontrast dazu hat eine tiefe Nut eine größere Kapazität, Fluid von der Entnahmestelle zur Injektionsstelle zu befördern, und hat deshalb einen vorteilhafteren Effekt auf die Verdichterstabilität. Man glaubt jedoch, dass der Stabilitätsvorteil nicht unbegrenzt anwächst. Außerdem ist die Nuttiefe offensichtlich durch die Dicke des Gehäuses und jegliche andere radiale Platzeinschränkungen limitiert. Erfahrung mit momentan verfügbaren Techniken zur maschinellen Bearbeitung hat demonstriert, dass es möglich ist, Nuten herzustellen, deren Tiefe  $D$  mindestens etwa drei Mal der Mundlänge  $L$  ist.

**[0034]** In einer speziellen Anordnung, die für eine Turbinenmaschine angedacht ist und durch die vorliegende Anmeldung entwickelt wird, wird die Nut-Gehäuseausbildung auf vier von fünf Verdichterstufen in einem der zwei Kernverdichter der Maschine angewandt. Jede der vier Laufschaufelanordnungen ist von einer umfangsmäßig verlaufenden Nut umgeben, deren strömungsaufwärtige Lippe bei etwa 25% der projizierten Spitzenprofilsehne angeordnet ist und deren strömungsabwärtige Lippe bei etwa 55% der projizierten Spitzenprofilsehne angeordnet ist. Die Nut hat parallel eine strömungsaufwärtige und eine strömungsabwärtige Wand und die strömungsaufwärtige Wand ist mit einem spitzen Winkel  $\theta_A$  von etwa  $30^\circ$  orientiert. Die Nuttiefe beträgt etwa zwei Mal der Mundlänge.

**[0035]** In Anbetracht der vorangegangenen Beschreibung kann man nun bestimmte zusätzliche Details der Nut-Gehäuseausbildung würdigen. Wie bereits angemerkt, geht man davon aus, dass die Orientierung der strömungsaufwärtigen Wand **42** kritischer als die Orientierung der strömungsabwärtigen Wand **44** beim Vermitteln einer Richtungskomponente in Strömungsrichtung auf das abgegebene Fluid ist. Deshalb kann es wünschenswert sein, das Gehäuse oder zumindest den Teil des Gehäuses in der Nähe der strömungsaufwärtigen Lippe **48** aus einem Material herzustellen, welches in der Lage ist, einer Erosion und Abrasion zu widerstehen. Ansonsten kann die strömungsaufwärtige Lippe durch Fremd-

körper, die in den Fluidstrom **20** eingebunden sind, oder wahrscheinlicher durch gelegentlichen Kontakt mit den Laufschaufelspitzen, während des Verdichterbetriebs ausbrechen oder verschlissen werden. In jedem Fall kann es die Erosion der Lippe **48** Fluid erlauben, in den Strömungsweg mit einer substantiell verringerten Richtungskomponente in Strömungsrichtung zu gelangen, was viel von dem Vorteil der Erfindung einbüßt.

**[0036]** Die strömungsabwärtige Lippe **50** beeinflusst auch die Fluidabgabe in den Strömungsweg. Idealerweise ist die Lippe **50** eine glatte Kurve anstelle einer scharfen Ecke, welche durch die Verlängerungen der Strömungswegoberfläche **38** und der strömungsabwärtigen Wand **44** definiert ist. Die Krümmung nutzt den Coanda-Effekt aus, bei dem Fluid unmittelbar benachbart einer gekrümmten Oberfläche eine Druckabnahme erfährt und beschleunigt wird, wenn sie über die Oberfläche strömt. In der Nähe befindliches Fluid mit höherem Druck, welches nicht dem Coanda-Effekt ausgesetzt ist, zwingt das betroffene Fluid, der Oberflächenkontur zu folgen. Wie man am besten in der [Fig. 1](#) erkennt, ist die Lippe **50** allmählich gekrümmt, um einen Vorteil aus dem Coanda-Effekt zu ziehen und das von der Nut abgegebene Fluid zu zwingen, sich eng an die Lippe zu drängen und in Strömungsrichtung zu drehen.

**[0037]** Man hat auch festgestellt, dass der Stabilitätsverstärkende Effekt der Gehäuseausbildung durch Nutwände verstärkt werden kann, die eine Oberflächenrauigkeit haben, die etwa 75 AA Mikrosinches überschreitet. Das AA-Oberflächenrauigkeitsmaß, welches auch als Rauigkeitsmittelwert ( $R_A$  – Roughness Average) oder Mittellinienmittelwert (CLA – Centerline Average) bekannt ist, ist in der ANSI Spezifikation B46.1-1995 definiert, die von der American Society of Mechanical Engineers erhältlich ist. Die Beobachtung, dass die Oberflächenrauigkeit einen Einfluß haben könnte, wurde im Verlauf des Testens einer Turbinenmaschine mit einer in das Bläsergehäuse **36** radial außerhalb einer einzelnen Anordnung von Bläserlaufschaufern maschinell bearbeiteten Nut **40** gemacht. Bei einer Testkonfiguration war der Teil des Gehäuses außerhalb der Bläserlaufschaufern aus einem abradierbaren Material (anhaltendes EC-3524B/A, welches von 3M Company, St. Paul Minnesota, USA erhältlich ist). Wegen der dem abradierbaren Material inhärenten Rauigkeit hatte die maschinell bearbeitete Nut eine merkliche, aber undeterminierte Oberflächenrauigkeit. In einer zweiten Konfiguration war die Nut in ein Aluminiumgehäuse maschinell bearbeitet, was zu relativ glatten Wänden mit einer Oberflächenrauigkeit von lediglich etwa 75 AA Mikrosinches in Axialrichtung und weniger als etwa 16 AA Mikrosinches in der Umfangsrichtung führte. Während der Tests zeigte die erste Konfiguration eine bessere Bläserstabilität als die zweite Kon-

figuration, was vermuten ließ, dass die Oberflächenrauigkeit vorteilhaft sein kann. Eine dritte Konfiguration wurde getestet, um den Vorteil zu bestätigen. Die dritte Konfiguration war eine modifizierte Version der zweiten Konfiguration, bei der einfache Farbe auf die Nutwände gesprüht war. Die zum Aufbringen der Farbe verwendete Sprühpistole war weit genug weg von den Wänden positioniert, dass die Sprühtröpfchen sich vor dem Kontakt der Wände zum Teil verfestigten. Beim Auftreffen auf die Wände hafteten die zum Teil verfestigten Tröpfchen an den Wandoberflächen an, und gaben den Wänden eine granulare Textur, deren Rauigkeit mit etwa 300 bis 400 AA Mikrosinches bestimmt wurde. Tests der dritten Konfiguration ergaben eine Bläserstabilität ähnlich zu der der ersten Konfiguration, was tendenziell bestätigte, dass eine Oberflächentextur wünschenswert ist. In der Praxis ist es erforderlich, eine geeignete, kontrollierbare und wiederholbarere Art zum Einbringen einer haltbaren Oberflächentextur zu verwenden.

**[0038]** Die [Fig. 3](#), [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) zeigen alternative Ausführungsformen einer Nut-Gehäuseausbildung. In der [Fig. 3](#) sind die Wandorientierungswinkel  $\theta_A$ ,  $\theta_O$  so gewählt, dass die strömungsaufwärtige und die strömungsabwärtige Wand **42**, **44** der Nut **40** eine sich verjüngende Nut definieren, deren Breite  $W$  mit zunehmender Nuttiefe  $D$  abnimmt. Die abnehmende Breite der sich verjüngenden Nut verdichtet Fluid, welches in die Nut an der Entnahmestelle strömt, ein wenig, so dass das Fluid mit mehr Kraft in den Strömungsweg an der Injektionsstelle ausgeworfen wird und so den Vorteil der Richtungskomponente in Strömungsrichtung verstärkt.

**[0039]** [Fig. 4](#) zeigt eine Nut-Gehäuseausbildung, bei der die strömungsaufwärtige und die strömungsabwärtige Wand **42**, **44** eine konturierte Nut **40** zum Vermitteln einer Strömungsrichtungskomponente an das Fluid, welches in den Strömungsweg an der Injektionsstelle gelangt, definiert. Die Kontur ist derart, dass die Neigung der Nutmittellinie  $M$  (eine Linie auf der Mitte zwischen der strömungsaufwärtigen und der strömungsabwärtigen Wand gemessen rechtwinklig zur Mittellinie) sich einer Orientierung mehr rechtwinklig als parallel zur Strömungsrichtung in der Nähe des Nutgrunds **46** und mehr parallel als rechtwinklig zu der Strömungsrichtung in der Nähe des Nutmunds **54** annähert.

**[0040]** [Fig. 5](#) zeigt eine Gehäuseausbildung, die mehrere Nuten **40** aufweist. Jede Nut ist ähnlich der in den [Fig. 1](#), [Fig. 2](#), [Fig. 2A](#) und [Fig. 2B](#) gezeigten Nut, in der Praxis kann jedoch jede Nut ihre eigene einzigartige Geometrie (Tiefe, Breite und Orientierung) haben. Mehrere Nuten, ob sie nun eine ähnliche oder eine unähnliche Geometrie aufweisen, können zum selektiven Entlasten übermäßiger Laufschauferbelastung an mehreren axial getrennten Positionen nützlich sein.

[0041] [Fig. 6](#) und [Fig. 6A](#) zeigen die Nut-Gehäuseausbildung, wie sie auf einen Zentrifugalverdichter in einer Turbinenmaschine angewandt werden könnte. Mit Strich versehene Bezugszeichen werden verwendet, um Merkmale des Zentrifugalverdichters zu bezeichnen, die analog zu den bereits für einen Axialströmungsverdichter beschrieben sind. Bei dem Zentrifugalverdichter erstreckt sich mindestens ein Teil des Verdichterströmungswegs **18'** radial, d.h. etwa rechtwinklig, relativ zur Verdichterrotationsachse **14'**. Jedoch ist die Nut-Gehäuseausbildung in jeglicher Hinsicht ähnlich zu der Nut-Gehäuseausbildung für einen Axialströmungsverdichter.

[0042] Ein Flugzeugturbinentriebwerk mit einer Gehäuseausbildung ähnlich zu der, wie sie in [Fig. 1](#) gezeigt ist, wurde von der Anmelderin der vorliegenden Anmeldung getestet. Die Gehäuseausbildungs-Nut **40** bei dem getesteten Triebwerk war außen von einer Anordnung von Bläserlaufschaufeln **16** positioniert, wobei die strömungsaufwärtige Nutlippe **48** bei etwa 50% der projizierten Spitzenprofilsehne war und die strömungsabwärtige Nutlippe **50** bei etwa 90% der projizierten Spitzenprofilsehne war. Die strömungsaufwärtige und die strömungsabwärtige Wand **42, 44** waren parallel zueinander, der spitze Orientierungswinkel  $\theta_A$  betrug etwa  $30^\circ$  und der stumpfe Winkel  $\theta_O$  betrug etwa  $150^\circ$ . Die Nuttiefe war etwa drei Mal der Nutbreite. Zum Vergleich wurden auch Tests mit einem glattwandigen Gehäuse (einem ohne Gehäuseausbildung) und mit einer konventionellen Gehäuseausbildung, aufweisend eine Anordnung von sechs Quernuten (d.h.  $\theta_A$  und  $\theta_O$  beide gleich  $90^\circ$ ) durchgeführt, die es dem Fluid erlauben, in den Strömungsweg ohne irgendeine merkliche Strömungsrichtungskomponente zu gelangen. Die Tests wurden für unterschiedliche Spielspalte **G** durchgeführt, welche die Laufschaufelspitzen **16** von der Strömungsweg-Oberfläche **38** trennen, wobei das kleinste oder engste dieser Spiele repräsentativ für das Spiel bei einem neuwertigen Triebwerk, welches bei seinem konstruktionsmäßigen Dauerbetriebspunkt arbeitet, ist. Testen bei den größeren Spielen ist signifikant, weil der Laufschaufelspitzen-Spielspalt üblicherweise mindestens für kurze Zeitintervallen während normalem Triebwerksbetrieb geringfügig vergrößert ist. Unglücklicherweise treten diese vergrößerten Spiele, die für die dynamische Fluidstabilität nachteilig sind, häufig bei einem Flugzeugtriebwerk bei Triebwerkleistungsniveaus und -Betriebsbedingungen auf, bei denen der Bläser gleichzeitig anderen Stabilitätsrisiken ausgesetzt ist.

[0043] Ergebnisse des Triebwerkstests sind in den [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) gezeigt. [Fig. 7A](#) zeigt die Ergebnisse von Tests mit einem mäßig vergrößerten Spitzenspiel von etwa 1,4% der Laufschaufelprofilsehne **C**. Während des Tests wurde die Triebwerksleistung allmählich erhöht, bis der Bläser Pumpzustände zeigte. Die Bläserstabilität ist in der Figur als Prozentsatz

von der Verdichterdrehzahl, bei der Stall auftrat, repräsentiert (100% Drehzahl ist die Drehzahl, bei der mechanisch der rote Bereich liegt). Wie man am besten in der [Fig. 7A](#) erkennt, war die Bläserstabilität signifikant besser bei dem erfindungsgemäßen Gehäuse mit Nut als bei einem glattwandigen Gehäuse trotz des etwas vergrößerten Spitzenspiels.

[0044] [Fig. 7B](#) zeigt, wie die Dauerbetriebsbläsereffizienz durch die Gehäuseausbildungen beeinflusst wird. Das Spitzenspiel ist in der Figur als Prozentsatz der Laufschaufelerstreckung **S**, wie in [Fig. 1](#) ersichtlich, gezeigt. Die grafische Darstellung ergibt, dass der Effizienznachteil, der der erfindungsgemäßen Nut-Gehäuseausbildung zuweisbar ist, merklich geringer ist als der, der konventionellen Nutausbildungen zuweisbar ist, insbesondere bei dem engsten Spitzenspiel. Weniger deutliche Vorteile bei den vergrößerten Spielen sind nicht problematisch, da ein Turbinentriebwerksbläser oder -verdichter normalerweise mit weiten Spielen lediglich für kurze Zeiträume arbeitet. Wenn das Triebwerk bei seinem Auslegungszustand betrieben wird, sind die Spiele eng.

[0045] In Kombination demonstrieren die [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#), dass die erfindungsgemäße Nut-Gehäuseausbildung eine signifikante Verbesserung der Stabilität mit lediglich einem moderaten Nachteil an Verdichtereffizienz bietet.

[0046] Obwohl die Erfindung mit Bezugnahme auf beispielhafte Ausführungsformen davon gezeigt wurde, wird der Fachmann erkennen, dass verschiedene Änderungen und Anpassungen vorgenommen werden können, ohne von der Erfindung, wie sie in den begleitenden Ansprüchen ausgeführt ist, abzuweichen.

## Patentansprüche

1. Fluidverdichter, aufweisend:  
eine Laufschaufelanordnung (**16; 16'**), die um eine Rotationsachse (**14; 14'**) rotationsfähig ist, wobei jede Laufschaufel der Anordnung eine Wurzel (**22**), eine Spitze (**24**), eine Vorderkante (**26**) und eine Hinterkante (**28**) aufweist, und wobei jede Laufschaufel sich über einen Fluidströmungsweg (**18; 18'**) erstreckt, der einen Fluidstrom durch den Verdichter kanalisiert; und  
ein Gehäuse (**36**) mit einer Strömungswegoberfläche (**38; 38'**), welche die Laufschaufelspitzen (**24**) umgibt und von diesen in Erstreckungsrichtung beabstandet ist, wobei das Gehäuse eine umfangsmäßig verlaufende Nut (**40; 40'**) in Fluidströmungsverbindung mit dem Strömungsweg (**18; 18'**) zum Erhalten von Fluid aus dem Strömungsweg an einer Fluidentnahmestelle (**56**) und zum Abgeben von Fluid in den Strömungsweg an einer Fluidinjektionsstelle (**58**) hat, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Nut derart gebildet und angeordnet ist, dass das abgegebene Fluid in



den Strömungsweg mit einer Richtungskomponente in Strömungsrichtung gelangt, so dass die Fluidinjektionsstelle (58) umfangsmäßig von der Fluidentnahmestelle (56) versetzt und im Wesentlichen axial mit dieser ausgerichtet ist.

2. Fluidverdichter nach Anspruch 1, wobei die Nut (40; 40') mindestens zum Teil durch eine strömungsaufwärtige Wand (42; 42') und eine strömungsabwärtige Wand (44; 44') definiert ist, wobei sich beide Wände zu einer Strömungswegoberfläche (38; 38') erstrecken und an diese an einer entsprechenden strömungsaufwärtigen und strömungsabwärtigen Lippe (48; 50; 48'; 50') anschließen, wobei die Lippen einen Mund (54; 54') der Nut (40; 40') bilden, wobei die strömungsaufwärtige Wand mit einem spitzen Winkel ( $\theta_A$ ;  $\theta_A$ ) relativ zu der anschließenden Strömungswegoberfläche orientiert ist, und die strömungsabwärtige Wand mit einem stumpfen Winkel ( $\theta_O$ ;  $\theta_O$ ) relativ zu der anschließenden Strömungswegoberfläche (38; 38') orientiert ist, so dass das abgegebene Fluid in den Strömungsweg (18; 18') mit einer Richtungskomponente in Strömungsrichtung gelangt.

3. Fluidverdichter nach Anspruch 2, wobei der spitze und der stumpfe Winkel ( $\theta_O$ ;  $\theta_O$ ;  $\theta_A$ ;  $\theta_A$ ) so gewählt sind, dass die Wände (42, 44; 42', 44') parallel zueinander sind und eine Nut (40; 40') von gleichförmiger Breite definieren.

4. Fluidverdichter nach Anspruch 2, wobei der spitze und der stumpfe Winkel ( $\theta_O$ ;  $\theta_O$ ;  $\theta_A$ ;  $\theta_A$ ) so gewählt sind, dass die Wände (42, 44; 42', 44') eine sich verjüngende Nut (40; 40') definieren, deren Breite mit zunehmender Nuttiefe abnimmt.

5. Fluidverdichter nach Anspruch 2, wobei die strömungsaufwärtige und die strömungsabwärtige Wand (42, 44; 42', 44') eine konturierte Nut (40; 40') mit einem Boden, einem Mund und einer Mittellinie definieren, deren Neigung sich an eine Orientierung mehr rechtwinklig als parallel zur Strömungsrichtung in der Nähe des Nutbodens annähert und mehr parallel als rechtwinklig zur Strömungsrichtung in der Nähe des Nutmunds annähert zum Vermitteln einer Richtungskomponente in Strömungsrichtung dem Fluid, welches an der Injektionsstelle in den Strömungsweg gelangt.

6. Fluidverdichter nach einem der Ansprüche 2 bis 5, wobei die strömungsabwärtige Nutlippe (50; 50') nicht weiter strömungsaufwärts als die Vorderkante (26) der Laufschaufelanordnung an den Laufschaufelspitzen (26) ist.

7. Fluidverdichter nach einem der Ansprüche 2 bis 6, wobei die strömungsaufwärtige Nutlippe (48; 48') nicht weiter strömungsabwärts als die Hinterkante (28) der Laufschaufelanordnung an den Lauf-

schaufelspitzen (24) ist.

8. Fluidverdichter nach einem der Ansprüche 2 bis 7, wobei der Mund (54; 54') eine Länge (L) in Strömungsrichtung hat und die Nut (40; 40') eine Tiefe (D) von bis zu etwa drei Mal der Mundlänge (L) hat.

9. Fluidverdichter nach einem der Ansprüche 2 bis 8, wobei die strömungsabwärtige Lippe (50; 50') gekrümmt ist, um von der Nut (40; 40') abgehendes Fluid zu einem Drehen in Strömungsrichtung anzuregen.

10. Fluidverdichter nach einem der Ansprüche 2 bis 9, wobei der Strömungsweg (18) sich im Wesentlichen parallel zur Rotationsachse (14) erstreckt, wobei die strömungsaufwärtige Nutlippe (48) bei etwa 25% der projizierten Spitzenprofilsehne ( $C_p$ ) der Laufschaufel ist, wobei die strömungsabwärtige Nutlippe (50) bei etwa 55% der projizierten Spitzenprofilsehne ( $C_p$ ) ist, wobei der spitze Winkel ( $\theta_O$ ) etwa 30 Grad beträgt, der stumpfe Winkel ( $\theta_A$ ) etwa 150 Grad beträgt, der Mund (54) eine Länge (L) in Strömungsrichtung hat und die Nut eine Tiefe von etwa zwei Mal der Mundlänge (L) hat.

11. Fluidverdichter nach einem der Ansprüche 2 bis 9, wobei mindestens ein Teil des Strömungswegs (18') etwa normal zur Rotationsachse verläuft.

12. Fluidverdichter nach einem der Ansprüche 2 bis 11, wobei die Nutwände (42, 44; 42', 44') eine Oberflächenrauigkeit von mindestens etwa 75 AA Mikroyards haben.

13. Fluidverdichter nach Anspruch 12, wobei die Oberflächenrauigkeit zwischen etwa 300 AA Mikroyards und etwa 400 AA Mikroyards ist.

14. Fluidverdichter nach Anspruch 1 für eine Turbinenmaschine, ferner aufweisend: eine Nabe (12; 12'), die um eine Rotationsachse (14; 14') rotationsfähig ist; eine Laufschaufelanordnung (16; 16'), welche von der Nabe (12; 12') nach außen ragt, wobei jede Laufschaufel der Anordnung ferner eine projizierte Spitzenprofilsehne ( $C_p$ ) hat; wobei die umfangsmäßig verlaufende Nut (40; 40') in Fluidströmungsverbindung ausschließlich mit dem Strömungsweg zum Aufnehmen indigenen Fluids von dem Strömungsweg an der Fluidentnahmestelle (56) ist und indigenes Fluid in den Strömungsweg an der Fluidinjektionsstelle (58), die im Wesentlichen in Strömungsrichtung mit der Entnahmestelle ausgerichtet ist, abgibt; wobei die Nut (40; 40') in Strömungsrichtung beabstandet eine strömungsaufwärtige und eine strömungsabwärtige Wand (42; 44; 42', 44') aufweist, wobei sich jede zu der Strömungswegoberfläche (38; 38') erstreckt und an diese anschließt, um jeweils eine strömungsaufwärtige und eine strömungsab-

wärtige Lippe (**48**, **50**; **48**, **50'**) zu definieren, wobei die Lippen einen Mund (**54**; **54'**) der Nut definieren, wobei die strömungsaufwärtige Wand mit einem spitzen Winkel ( $\theta_A$ ;  $\theta_A$ ) relativ zu der anschließenden Strömungswegoberfläche orientiert ist, wobei die strömungsabwärtige Wand mit einem stumpfen Winkel ( $\theta_O$ ;  $\theta_O$ ) relativ zu der anschließenden Strömungswegoberfläche orientiert ist, wobei der Nutmund (**54**; **54'**) so positioniert ist, dass mindestens ein Teil des Mundes (**54**; **54'**) sich in Strömungsrichtung gemeinsam mit der projizierten Spitzenprofilsehne ( $C_p$ ) erstreckt.

15. Verfahren zum Verstärken der Fluidströmungsstabilität eines Verdichters, wobei der Verdichter eine Laufschaufelanordnung (**16**; **16'**), die um eine Achse (**14**; **14'**) rotationsfähig ist, hat, wobei jede Laufschaufel der Anordnung sich über einen Strömungsweg (**18**; **18'**) erstreckt, der einen Fluidstrom durch den Verdichter kanalisiert, wobei jede Laufschaufel auch eine Laufschaufelspitze (**24**) hat, wobei der Verdichter auch ein Gehäuse (**36**; **36'**) mit einer Strömungswegoberfläche (**38**; **38'**) hat, die von den Laufschaufelspitzen beabstandet ist und diese umgibt, wobei der Fluidstrom einen umfangsmäßig nicht gleichförmigen, in Strömungsrichtung entgegenwirkenden Druckgradienten hat, wobei das Verfahren aufweist:

Ableiten von indigenem Fluid von dem Strömungsweg an einer Entnahmestelle (**56**), die umfangsmäßig mit einem relativ hohen Strömungswegfluiddruck ausgerichtet ist;

Lenken des indigenen Fluids umfangsmäßig zu einer Injektionsstelle (**58**), die umfangsmäßig mit einem relativ niedrigen Strömungswegfluiddruck ausgerichtet ist; und

Abgeben des indigenen Fluids in den Strömungsweg an der Injektionsstelle derart, dass das abgegebene Fluid in den Strömungsweg mit einer Richtungskomponente in Strömungsrichtung gelangt, wobei die Injektionsstelle umfangsmäßig von der Entnahmestelle beabstandet ist und im Wesentlichen axial mit dieser ausgerichtet ist.

16. Verfahren zum Verstärken von Fluidströmungsstabilität eines Verdichters nach Anspruch 15, wobei jede Laufschaufel der Anordnung auch eine Laufschaufelspitze (**24**), eine Druckoberfläche (**34**) und eine Sogoberfläche (**32**) hat, wobei die Entnahmestelle (**56**) umfangsmäßig mit einem relativ hohen umfangsmäßigen Druckunterschied über eine Laufschaufelspitze ausgerichtet ist; und die Entnahmestelle (**58**) umfangsmäßig mit einem Strömungswegfluiddruck ausgerichtet ist, der niedriger ist als der Strömungswegfluiddruck benachbart der Druckoberfläche der Laufschaufel an der Entnahmestelle.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

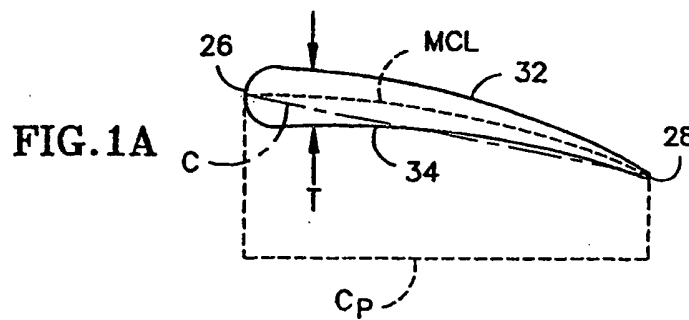
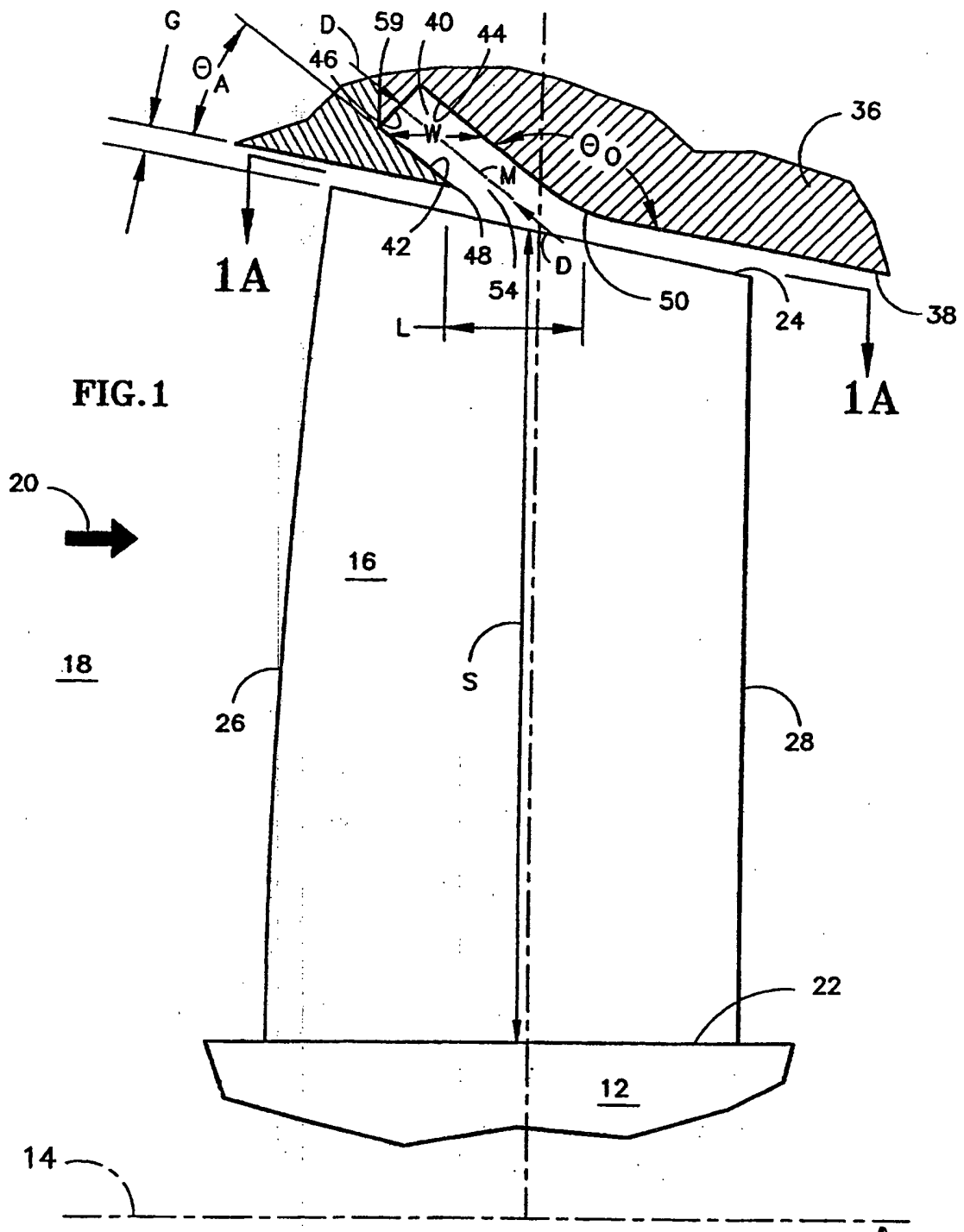




FIG.3

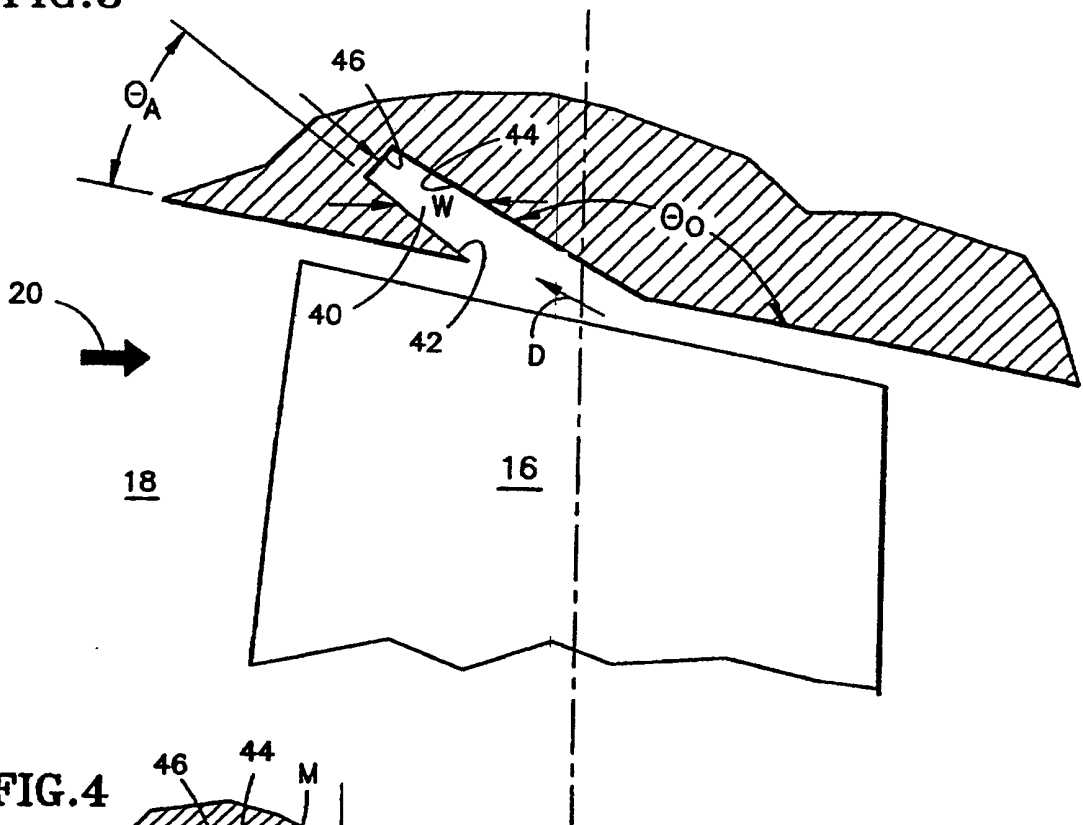


FIG.4

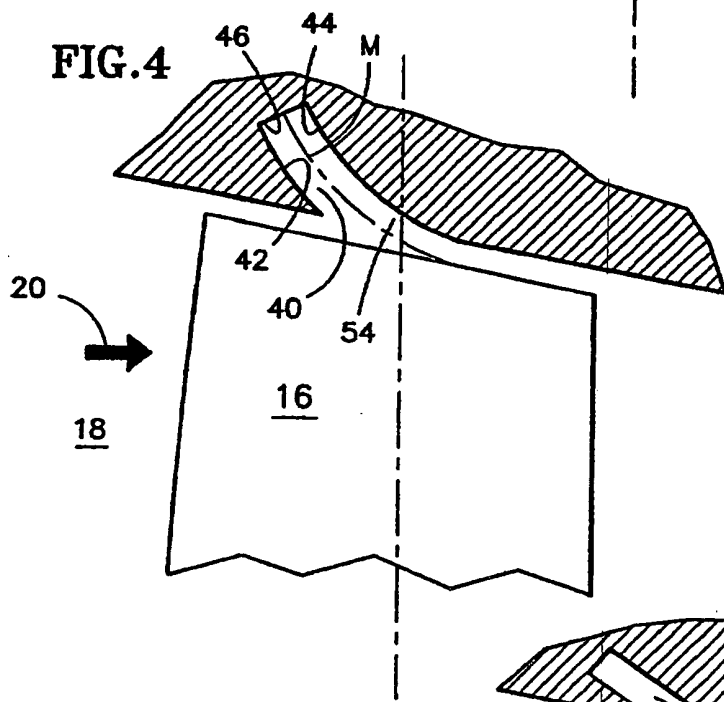


FIG.5

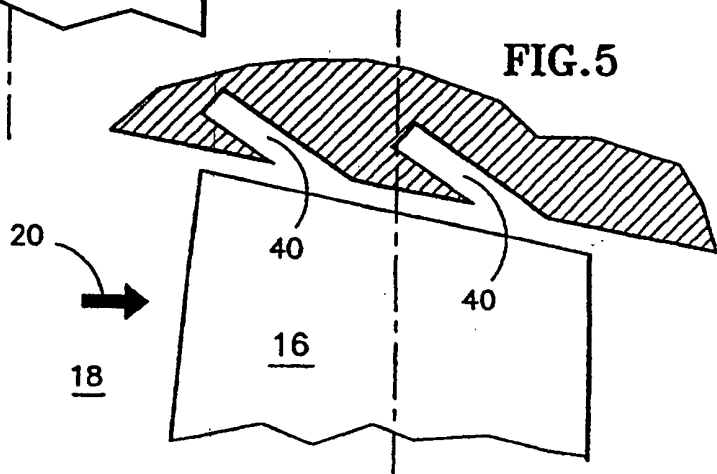


FIG.6

4/10

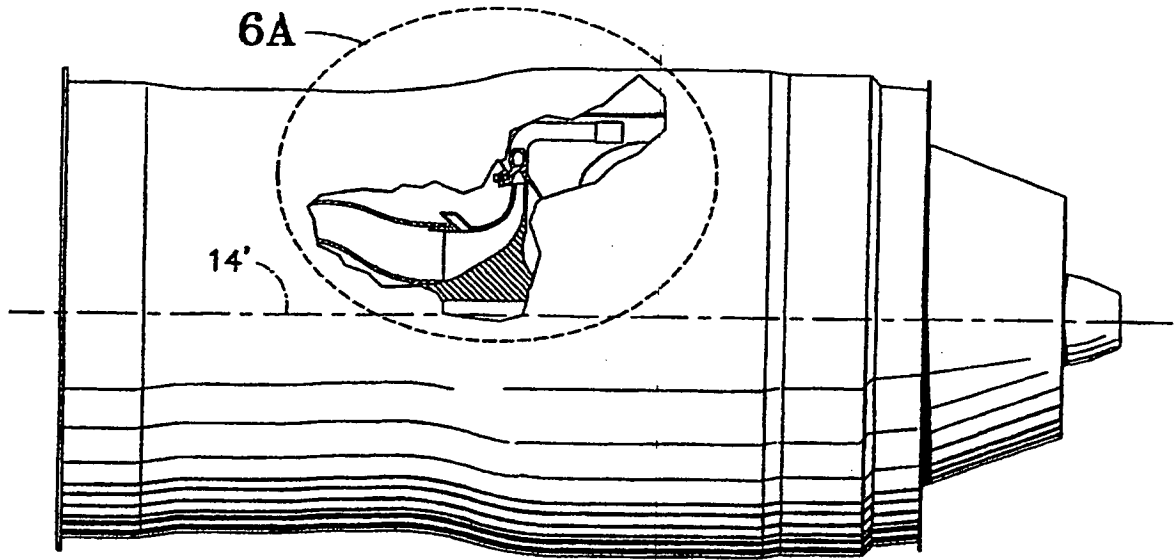


FIG.6A

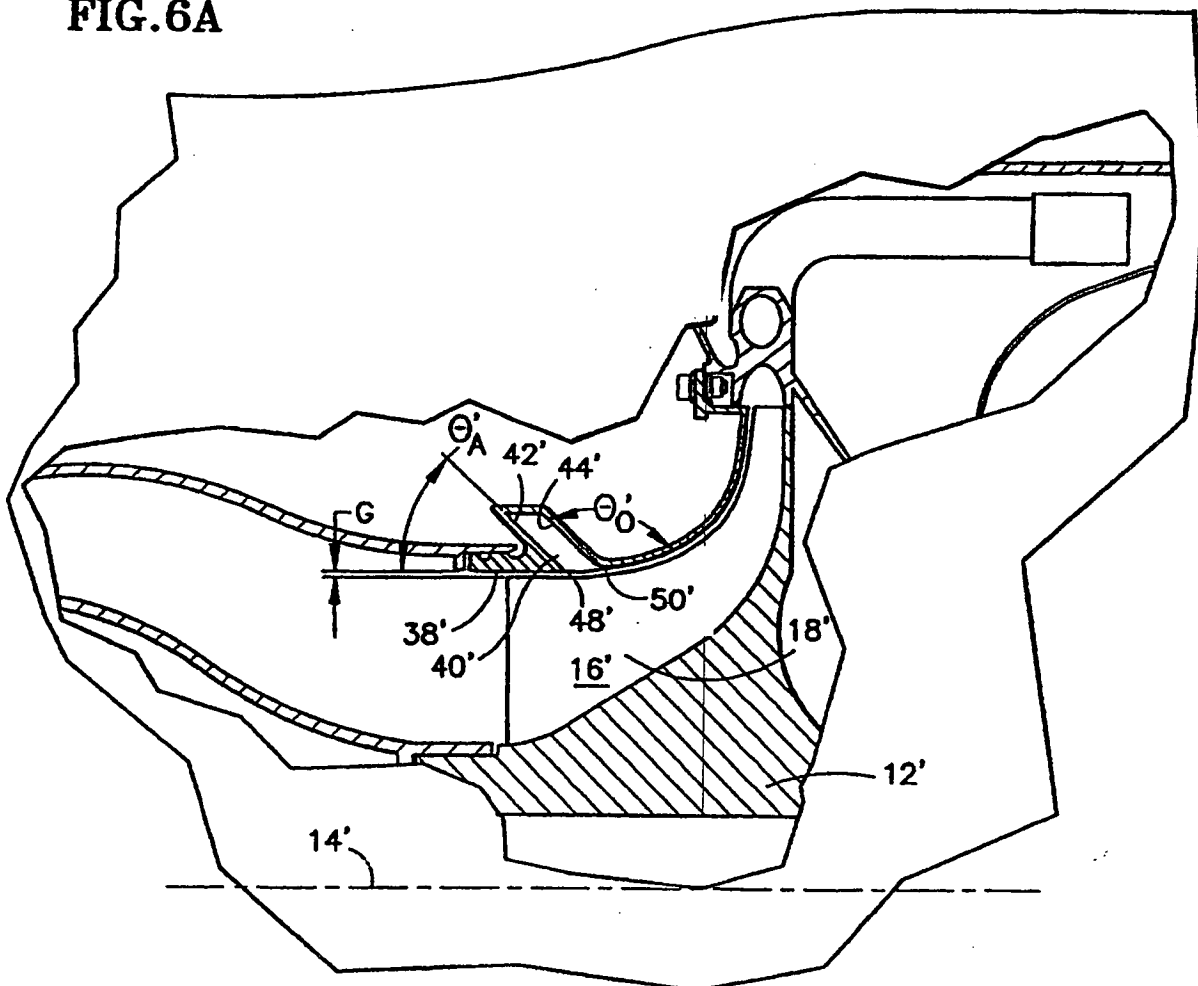


FIG. 7A

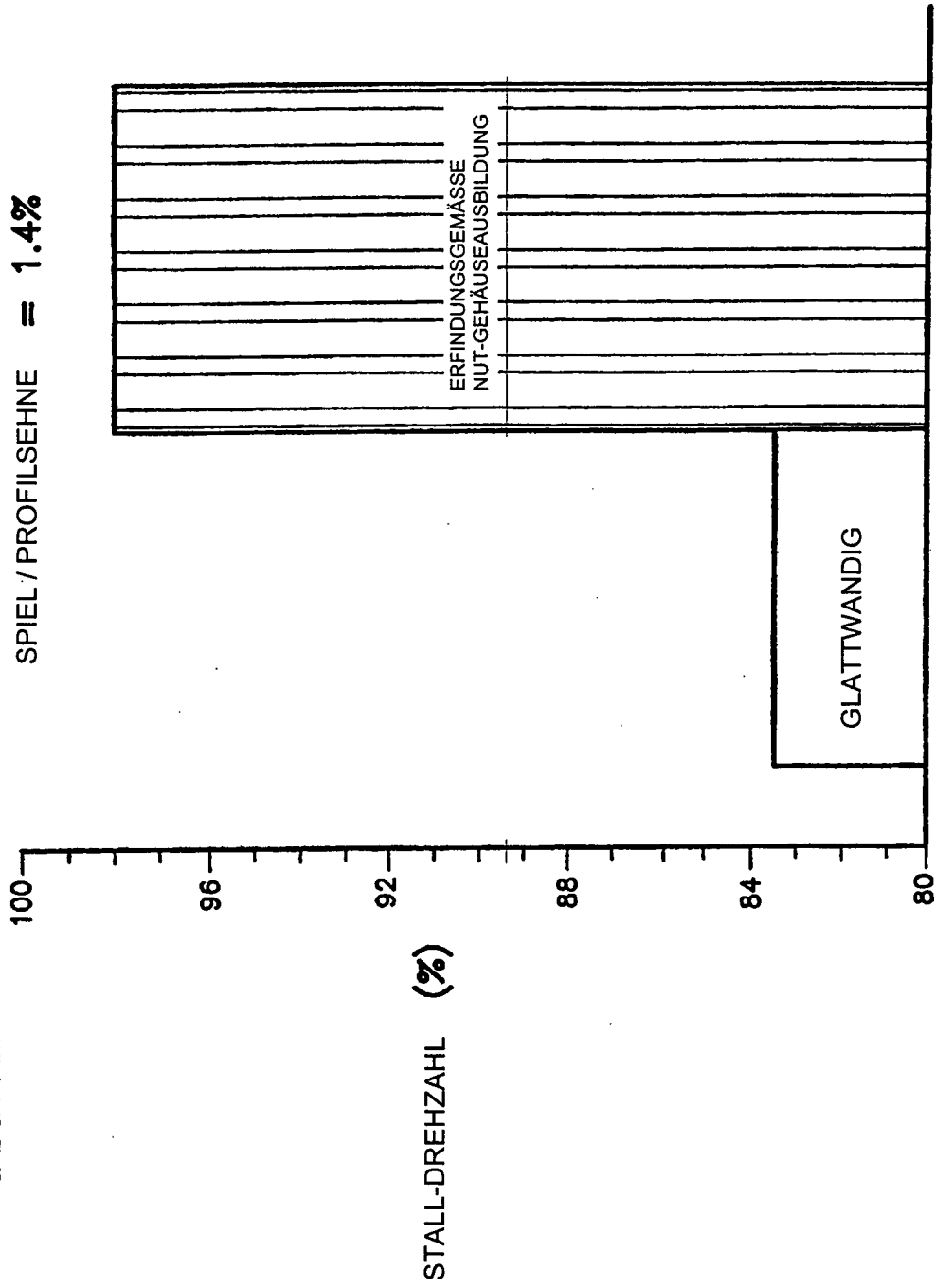
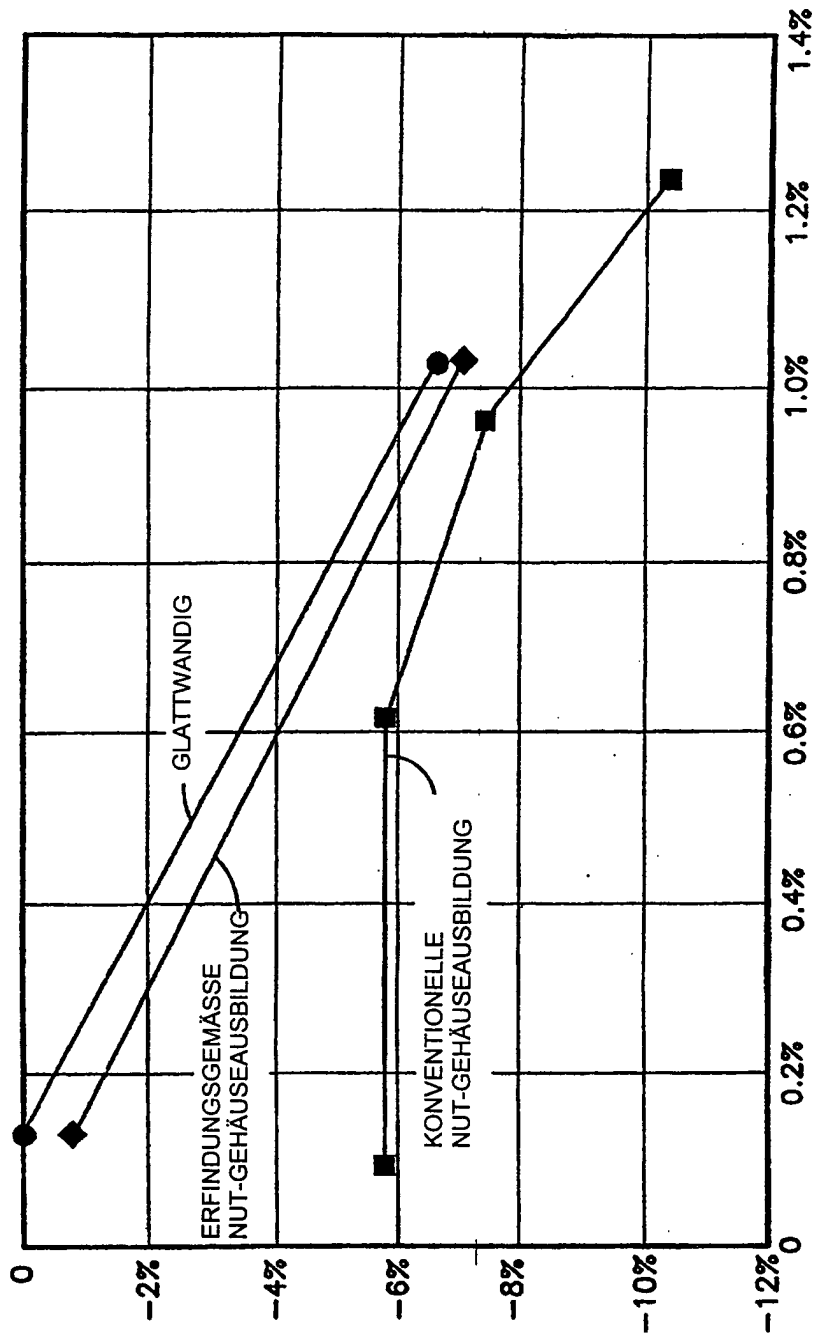


FIG.7B



Δ EFFIZIENZ