

(19)



(11)

**EP 2 180 193 A2**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**28.04.2010 Patentblatt 2010/17**

(51) Int Cl.:  
**F04D 27/02<sup>(2006.01)</sup> F04D 29/68<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **09010688.1**

(22) Anmeldetag: **19.08.2009**

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

(72) Erfinder: **Gümmer, Volker, Dr.**  
**15831 Mahlow (DE)**

(74) Vertreter: **Weber, Joachim**  
**Hoefer & Partner**  
**Patentanwälte**  
**Pilgersheimer Strasse 20**  
**81543 München (DE)**

(30) Priorität: **21.10.2008 DE 102008052409**

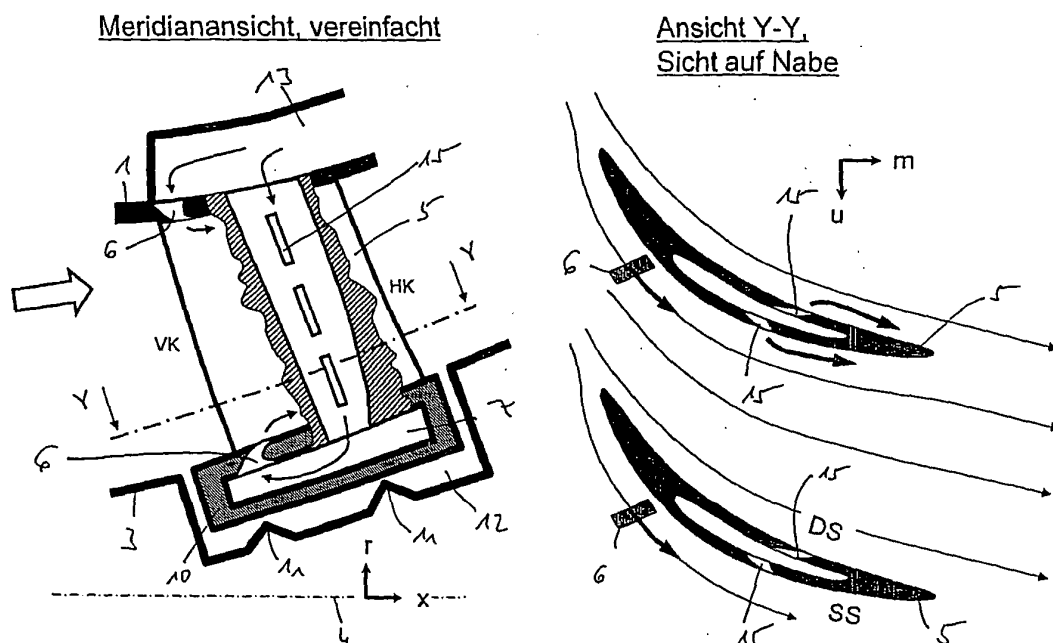
(71) Anmelder: **Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG**  
**15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)**

### (54) **Strömungsarbeitsmaschine mit saugseitennaher Randenergetisierung**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf eine Strömungsarbeitsmaschine mit einem Hauptströmungspfad (2), in welchem zumindest eine Reihe von Schaufeln (5) angeordnet ist, wobei mindestens ein Schaufelende einer Schaufelreihe eine feste Verbindung zur Hauptströmungspfadberandung aufweist und mindestens eine mit Fluid versorgte Randkammer (7) im Bereich dieses

Schaufelendes außerhalb der Hauptströmungspfadberandung vorgesehen ist, wobei im Bereich des festen Schaufelendes im Bereich mindestens einer Schaufelsaugseite mindestens ein Auslass (6) vorgesehen ist, durch den Fluid aus der mindestens einen Randkammer (7) auf die Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung in den Hauptströmungspfad ausleitbar ist.

**Fig.3b**



**EP 2 180 193 A2**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Strömungsarbeitsmaschine mit saugseitennaher Randenergetisierung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

**[0002]** Die aerodynamische Belastbarkeit und die Effizienz von Strömungsarbeitsmaschinen, beispielsweise Bläsern, Verdichtern, Pumpen und Ventilatoren, wird durch das Wachstum und die Ablösung von Grenzschichten auf den Schaufeln und insbesondere auf den Naben- und Gehäusewänden begrenzt. Der Stand der Technik hält für den Fall hoher aerodynamischer Belastung und starken Grenzschichtwachstums auf den Ringkanalseitenwänden (Nabe oder Gehäuse) nur bedingt Lösungen bereit.

**[0003]** Für Schaufeloberflächen (Saug- und Druckseite) sind hingegen Konzepte bekannt. Verwandte Alternativlösungen sehen ein direktes Durchtreten des Fluides von der Schaufeldruckseite zur Schaufelsaugseite vor. Daneben existiert für Rotoren ein Konzept zur Luftzufuhr an Nabe und Gehäuse durch in Umfangsrichtung der Maschine verlaufende Schlitzte, um die dortigen Wandgrenzschichten zu beeinflussen. Schließlich gibt es Konzepte, bei denen Rotoren am Gehäuse aus einzelnen Düsen angeblasen werden, um die dortige Radialspaltströmung günstig zu beeinflussen. Der allgemeine Gedanke der Grenzschichtbeeinflussung durch Einblasung bzw. Fluidzufuhr ist somit im Stand der Technik enthalten, doch gibt es keine wirkungsvollen Lösungen für die Beeinflussung der Seitenwandgrenzschichtströmung in Schaufelanordnungen mit festem Schaufelende, d. h. bei Verbindungen von Schaufelende und Hauptströmungspfadberandung ohne Spalt.

**[0004]** Der Stand der Technik ist teils in nachfolgenden Veröffentlichungen dokumentiert:

US 5,690,473  
US 6,334,753  
US 2,870,957  
US 2,933,238  
US 5,480,284

**[0005]** Die Strömung in Schaufelreihen aerodynamisch hoch belasteter Strömungsarbeitsmaschinen weist eine sehr hohe zu erreichende Strömungsumlenkung auf. Die erforderliche Strömungsumlenkung kann entweder in Teilen der Schaufelhöhe oder entlang der gesamten Schaufelhöhe so hoch werden, dass eine konventionelle Anordnung zu frühzeitiger Ablösung der Grenzschichtströmung im Randbereich an Naben- und/oder Gehäusewänden führt.

**[0006]** Übliche Schaufelreihen, wie sie in Fig. 1 dargestellt sind, ohne zusätzliche Gestaltungsmerkmale zur Stabilisierung der Wandgrenzschichten, sind aufgrund extrem hoher Druckverluste und der Nichterreichung der angestrebten Strömungsumlenkung, beides verursacht durch starke Sekundärströmungen, Grenzschichtablösung und Rückströmung, ungeeignet. Die Konsequenz

ist ein insgesamt schlechtes Leistungsverhalten der Strömungsarbeitsmaschine im Hinblick auf den Wirkungsgrad und die verfügbare Stabilitätsmarge.

**[0007]** Schaufelreihen mit einer Gestaltung nach dem Stand der Technik, siehe Fig. 1, besitzen aufgrund der starken auftretenden aerodynamischen Belastung der Seitenwandgrenzschichten, d. h. der am Hauptströmungspfadberandung ausgebildeten Grenzschichten, einen zu geringen Arbeitsbereich und zu hohe Verluste, um die in modernen Strömungsarbeitsmaschinen erforderlichen Betriebskennwerte zu erbringen. Bisher vorgeschlagene Lösungen zur Fluidzufuhr am Strömungspfadrand dienten primär der Beeinflussung der Spaltlekageströmung an Rotorspitzen.

**[0008]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Schaufeln von Strömungsarbeitsmaschinen wie Bläser, Verdichter, Pumpen und Ventilatoren axialer, halbaxialer und radialer Bauart mit gasförmigem oder flüssigem Arbeitsmedium. Die Strömungsarbeitsmaschine kann eine oder mehrere Stufen mit jeweils einem Rotor und einem Stator umfassen, in Einzelfällen wird die Stufe lediglich durch einen Rotor gebildet. Der Rotor besteht aus einer Anzahl von Schaufeln, die mit der rotierenden Welle der Maschine verbunden sind und Energie an das Arbeitsmedium abgeben. Der Rotor kann mit oder ohne Deckband am äußeren Schaufelende ausgeführt sein. Der Stator besteht aus einer Anzahl feststehender Schaufeln, die nabenseitig wie gehäuseseitig mit festem oder freiem Schaufelende ausgeführt sein können. Die Rotortrommel und die Beschaukelung sind üblicherweise von einem Gehäuse umgeben, in anderen Fällen, z. B. bei Propellern oder Schiffsschrauben, existiert kein Gehäuse. Die Maschine kann auch einen Stator vor dem ersten Rotor, ein sogenanntes Vorleitrad aufweisen. Mindestens ein Stator oder Vorleitrad kann -abweichend von der unbeweglichen Fixierung- drehbar gelagert sein, um den Anstellwinkel zu verändern. Eine Verstellung erfolgt beispielsweise durch eine von außerhalb des Ringkanals zugängliche Spindel. Alternativ kann die besagte Strömungsarbeitsmaschine bei Mehrstufigkeit zwei gegenläufige Wellen besitzen, so dass die Rotorschaukelreihen von Stufe zu Stufe die Drehrichtung wechseln. Hierbei existieren keine Statoren zwischen aufeinander folgenden Rotoren. Schließlich kann die Strömungsarbeitsmaschine alternativ eine Nebenstromkonfiguration derart aufweisen, dass sich der einstromige Ringkanal hinter einer bestimmten Schaufelreihe in zwei konzentrische Ringkanäle aufteilt, die ihrerseits mindestens jeweils eine weitere Schaufelreihe beherbergen. Fig. 2 zeigt beispielhaft vier mögliche Konfigurationen der Strömungsarbeitsmaschine.

**[0009]** Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Strömungsarbeitsmaschine der eingangs genannten Art zu schaffen, welche unter Vermeidung der Nachteile des Standes der Technik eine wirkungsvolle Grenzschichtbeeinflussung im Schaufelspitzenbereich aufweist.

**[0010]** Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die

Merkmalskombination des Hauptanspruchs gelöst, die Unteransprüche zeigen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

**[0011]** Im einzelnen umfasst die vorliegende Erfindung somit eine Strömungsarbeitsmaschine mit einem Hauptströmungspfad, in welchem zumindest eine Reihe von Schaufeln angeordnet ist, wobei mindestens ein Schaufelende einer Schaufelreihe eine feste Verbindung zur Hauptströmungspfadberandung aufweist und mindestens eine mit Fluid versorgte Randkammer im Bereich dieses Schaufelendes außerhalb der Hauptströmungspfadberandung vorgesehen ist, wobei mindestens ein Auslass im Bereich des besagten festen Schaufelendes in der Nähe mindestens einer Schaufelsaugseite vorgesehen ist, durch den Fluid aus der besagten mindestens einen Randkammer im Wesentlichen in Richtung der Hauptströmung auf die Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung gelangt.

**[0012]** Erfindungsgemäß ist für den Einsatz in einer Strömungsarbeitsmaschine eine Schaufel geschaffen, die im Bereich mindestens eines ihrer Enden an der Hauptströmungspfadberandung einen speziell geformten Auslass zur Tangentialstrahlerzeugung in Nähe der Schaufelsaugseite aufweist, derart, dass Fluid aus einer Kammer außerhalb der Hauptströmungspfadberandung auf strömungsgünstige Weise auf die Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung austreten kann.

**[0013]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Figuren beschrieben. Dabei zeigt:

- Fig.1 eine Schaufel nach dem Stand der Technik,
- Fig.2 eine mögliche Konfigurationen erfindungsrelevanter Strömungsarbeitsmaschinen,
- Fig.3a ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Schaufel, Stator mit freiem Schaufelende an der Nabe,
- Fig.3b ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Schaufel, Stator mit Deckband an der Nabe,
- Fig.3c ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Schaufel, Rotor mit freiem Schaufelende am Gehäuse,
- Fig.3d ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Schaufel, Rotor mit Deckband am Gehäuse,
- Fig.4a eine erfindungsgemäße Seitenwandstrahlerzeugung, Ringkanalwandansicht an einem festen Schaufelende, orthogonale Anordnung der Auslassstrajektorie,
- Fig.4b eine erfindungsgemäße Seitenwandstrahlerzeugung, Ringkanalwandansicht an einem festen Schaufelende, stromauf geneigte An-

ordnung der Auslassstrajektorie,

- Fig.4c eine erfindungsgemäße Seitenwandstrahlerzeugung, Ringkanalwandansicht an einem festen Schaufelende, Auslassstrajektorie vor der Engstelle,
- Fig.4d eine erfindungsgemäße Definition der Trajektorienneigung,
- Fig.5a eine erfindungsgemäße Form des Auslasses, knickartiger Konturübergang, Schnitt Z-Z,
- Fig.5b eine erfindungsgemäße Form des Auslasses, allmählicher Konturübergang, Düsenform, Schnitt Z-Z,
- Fig.5b eine Definition des erfindungsgemäßen Auslasses, Betrachtung in einer freien Schnittebene, Düsenform,
- Fig.5c ein erfindungsgemäßer Übergang des Auslasses zur Oberfläche, Schnitt Z-Z,
- Fig.5d ein erfindungsgemäßer Auslass mit Trennsteg oder Umlenkhilfe, Schnitt Z-Z.

**[0014]** Eine konventionelle Schaufelreihe nach dem Stand der Technik, wie sie in Fig. 1 gezeigt ist, besitzt keine an der Hauptströmungspfadberandung in Saugseitennähe vorgesehenen Auslässe zur Erzeugung eines Tangentialstrahls. Die rechte Seite der Fig. 1 zeigt vereinfacht eine Rotor- oder Statorschaufelreihe 5 im Meridianschnitt mit Anströmung von links nach rechts (dicker Pfeil). Bei konventionellen Schaufeln 5 verläuft die Strömung zwar um die einzelnen Profilschnitte der Schaufeln 5 (siehe Ansicht X-X) dem Verlauf der Schaufelpassage folgend von der Vorderkante (VK) zur Hinterkante (HK), doch treten in Nähe der Strömungspfadberandung an Nabe 3 oder Gehäuse 1 nachteilige Sekundärströmungen auf, die lokale Rückströmgebiete mit teils abgelöster Strömung zur Folge haben (siehe gestrichelte Pfeile im linken und rechten Bildteil).

**[0015]** Die Fig. 3a zeigt das Beispiel einer erfindungsgemäßen Schaufelreihe, hier eines Stator mit festem Schaufelende am Gehäuse 1, an dem die auftretenden mechanischen Lasten auf die bauliche Struktur der Strömungsarbeitsmaschine weiter übertragen werden und das im folgenden als "lastübertragendes festes Schaufelende" bezeichnet wird. An der Nabe befindet sich ein freies Schaufelende mit Laufspalt.

**[0016]** Die Schaufel 5 ist im Meridianschnitt mit Anströmung von links nach rechts, siehe linker Bildteil und in der Ansicht X-X (Gehäuseansicht) im rechten Bildteil dargestellt.

**[0017]** Der Stator besitzt an seinem lastübertragenden festen Schaufelende mindestens eine mit Fluid versorgte, außerhalb des Hauptströmungspfades befindliche

Primärrandkammer, die im Bild nur vereinfacht skizziert ist und aus der durch mindestens einen Auslass Fluid auf die Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung austritt.

**[0018]** Die Fig. 3b zeigt das Beispiel einer erfindungsgemäßen Schaufel 5, hier eines Stators mit lastübertragenden festem Schaufelende am Gehäuse 1, und festem Schaufelende an der Nabe 3. Zwischen dem Deckband 10 an der Nabe 3 und der Rotorwelle liegt eine rotierende Relativbewegung vor, wobei Dichtspitzen 11 in einer das Deckband 10 umgebenden Kavität 12 für eine Abdichtung sorgen. Ein solches festes Schaufelende wird im Folgenden als "lastfreies festes Schaufelende" bezeichnet.

**[0019]** Die Schaufel ist im Meridianschnitt mit Anströmung von links nach rechts, siehe linker Bildteil und in der Ansicht Y-Y (Nabenansicht) im rechten Bildteil dargestellt.

**[0020]** Der Stator besitzt an seinem lastübertragenden festen Schaufelende mindestens eine mit Fluid versorgte Primärrandkammer 13 außerhalb des Hauptströmungspfad

2, aus der durch einen Auslass 6 Fluid auf die Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung austritt. **[0021]** Der Stator besitzt zudem mindestens einen Strömungsweg im Innern mindestens einer Schaufel 5, der die mindestens eine Primärrandkammer 13 am lastübertragenden festen Schaufelende mit mindestens einer Sekundärrandkammer 14, definiert durch ihre Lage außerhalb des Hauptströmungspfad

am anderen festen Schaufelende des Stators, verbindet, wobei aus der mindestens einen Sekundärrandkammer 14 durch mindestens einen Auslass 6 ebenfalls Fluid auf die Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung austritt. **[0022]** Ein erfindungsgemäß günstiger Fall liegt vor, wenn entsprechend der Darstellung in Fig. 3b, das feste Schaufelende mit Sekundärrandkammer 14 ein lastfreies festes Schaufelende ist und die mindestens eine Sekundärrandkammer 14 innerhalb des Deckbandes 10 vorgesehen ist.

**[0023]** Wie in Fig. 3b dargestellt, ist es weiterhin erfindungsgemäß besonders vorteilhaft, wenn von mindestens einem Strömungsweg im Innern mindestens einer Schaufel 5 ausgehend mindestens ein Auslass 15 zu mindestens einer der beiden Schaufeloberflächen (konvexe Saugseite SS, konkave Druckseite DS) geschaffen ist, durch den zusätzlich Fluid austreten kann, wobei es weiterhin vorteilhaft ist, wenn bei Vorsehung mehrerer Auslässe 15 an Schaufeloberflächen mindestens drei schlitzzartige im Wesentlichen in hauptströmungstransversaler Richtung nebeneinander und in einer Reihe angeordnete Auslässe 15 an der Saugseite vorgesehen sind.

**[0024]** Die Fig. 3c zeigt das Beispiel einer erfindungsgemäßen Schaufelreihe, hier eines Rotors mit lastübertragendem festem Schaufelende an der Nabe. Am Gehäuse 1 befindet sich ein freies Schaufelende mit Laufspalt.

**[0025]** Die Schaufel 5 ist im Meridianschnitt mit An-

strömung von links nach rechts, siehe linker Bildteil und in der Ansicht Y-Y (Nabenansicht) im rechten Bildteil dargestellt.

**[0026]** Der Rotor besitzt an seinem lastübertragenden festen Schaufelende mindestens eine mit Fluid versorgte, außerhalb des Hauptströmungspfad

befindliche Primärrandkammer 13, die im Bild nur vereinfacht skizziert ist und aus der durch mindestens einen Auslass Fluid 6 auf die Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung austritt. **[0027]** Die Fig. 3d zeigt das Beispiel einer erfindungsgemäßen Schaufel 5, hier eines Rotors mit lastübertragenden festem Schaufelende an der Nabe 3 und lastfreiem festem Schaufelende (mit Deckband 10) am Gehäuse 1. Zwischen Deckband 10 und Gehäuse 1 liegt eine rotierende Relativbewegung vor, wobei Dichtspitzen 11 in einer das Deckband 10 umgebenden Kavität 12 für eine Abdichtung sorgen. Die Schaufel 5 ist im Meridianschnitt mit Anströmung von links nach rechts, siehe linker Bildteil und in der Ansicht X-X (Gehäuseansicht) im rechten Bildteil dargestellt.

**[0028]** Der Rotor besitzt an seinem lastübertragenden festen Schaufelende mindestens eine mit Fluid versorgte Primärrandkammer 13 außerhalb des Hauptströmungspfad

2, aus der durch einen Auslass 6 Fluid auf die Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung austritt. **[0029]** Der Rotor besitzt zudem mindestens einen Strömungsweg im Innern mindestens einer Schaufel 5, der die mindestens eine Primärrandkammer 13 am lastübertragenden festen Schaufelende mit mindestens einer Sekundärrandkammer 14, definiert durch ihre Lage außerhalb des Hauptströmungspfad

am anderen festen Schaufelende des Rotors, verbindet, wobei aus der mindestens einen Sekundärrandkammer 14 durch mindestens einen Auslass 6 ebenfalls Fluid auf die Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung austritt. **[0030]** Ein erfindungsgemäß günstiger Fall liegt vor, wenn entsprechend der Darstellung in Fig. 3d, das feste Schaufelende mit Sekundärrandkammer 14 ein lastfreies festes Schaufelende ist und die mindestens eine Sekundärrandkammer 14 innerhalb des Deckbandes 10 vorgesehen ist.

**[0031]** Wie in Fig. 3d dargestellt, ist es weiterhin erfindungsgemäß besonders vorteilhaft, wenn von mindestens einem Strömungsweg im Innern mindestens einer Schaufel 5 ausgehend mindestens ein Auslass 15 zu mindestens einer der beiden Schaufeloberflächen (konvexe Saugseite SS, konkave Druckseite DS) geschaffen ist, durch den zusätzlich Fluid austreten kann, wobei es weiterhin vorteilhaft ist, wenn bei Vorsehung mehrerer Auslässe 15 an Schaufeloberflächen mindestens drei schlitzzartige im Wesentlichen in hauptströmungstransversaler Richtung nebeneinander und in einer Reihe angeordnete Auslässe an der Saugseite vorgesehen sind.

**[0032]** Die Öffnung mindestens eines Auslasses 6 an der Hauptströmungspfadberandung der betreffenden Schaufelreihe ist erfindungsgemäß in der Umgebung der Saugseite vorgesehen.

**[0033]** Die Schaufel 5 weist in der gezeigten Darstellung in Fig. 3a, 3b, 3c und 3d nur je eine Auslassöffnung 6 pro Schaufelpassage auf. Abweichend von dieser Darstellung können erfindungsgemäß auch jeweils mehrere Auslassöffnungen 6 in einer Schaufelpassage angeordnet sein.

**[0034]** Erfindungsgemäß besitzt der Auslass 6 eine in Hauptströmungsrichtung geneigte, idealerweise düsenartige Form, wobei der aus dem Auslass 6 durch die Auslassöffnung austretende Fluidstrahl eine wesentliche Komponente parallel zur Hauptströmung erhält und sich auf diese Weise im Wesentlichen tangential an die Hauptströmungspfadberandung anlegt.

**[0035]** Die Randkontur kann erfindungsgemäß im Bereich der Auslassöffnung glatt verlaufen oder einen lokalen, auf die Hauptströmungsrichtung bezogen rücksprungartigen Absatz aufweisen.

**[0036]** Die Fig. 4a zeigt sowohl auf seiner linken als auch rechten Bildseite die erfindungsgemäße Schaufelreihe mit festem Schaufelende in einem abgewinkelten Stromlinienschnitt in der Nähe einer Hauptströmungspfadberandung, wie es etwa der Ansicht X-X oder Y-Y entspricht, d. h. in der durch die Meridianströmungsrichtung m und die Umfangsrichtung u gebildeten Ebene. Zugunsten einer besseren Übersichtlichkeit sind nur zwei Profilschnitte der erfindungsgemäßen Schaufelreihe 5 dargestellt. Die Anströmung erfolgt gemäß des dicken Pfeils schräg von links nach rechts. Jedes Profil besitzt eine Skelettlinie SL, die für die Zwecke der vorliegenden Erfindung innerhalb des Profils durch die Mittellinie zwischen Druck- und Saugseite und außerhalb des Profils durch die jeweils tangentielle Fortsetzung dieser Mittellinie an Vorder- und Hinterkante gegeben sein soll.

**[0037]** Im linken Bildteil kennzeichnet W die Weite der Schaufelpassage an der engsten Stelle zwischen zwei benachbarten Schaufelprofilen an der Hauptströmungspfadberandung. Die Dicke des Profils an der Engstelle ist mit d bezeichnet.

**[0038]** Außer den Skelettlinien SL der zwei dargestellten Profile ist eine Grenzlinie GL eingezeichnet, die erfindungsgemäß durch die zwischen zwei Schaufelprofilen gebildete Passage verläuft und dabei einen gleichbleibenden Abstand  $a=W+0,5\cdot d$  von der konvexen Seite der Skelettlinie aufweist. Diese Grenzlinie schränkt den Bereich der erfindungsgemäß sinnvollen Positionen von Auslassöffnungen ein. So sind erfindungsgemäß Auslassöffnungen stets stromauf der Hinterkantelinie HKL im Bereich zwischen der konvexen Seite einer Skelettlinie SL und der konkaven Seite der nächsten, in Richtung der Druckseite des benachbarten Profils anzutreffenden Grenzlinie GL vorgesehen.

**[0039]** Die linke Bildseite zeigt erfindungsgemäße Beispiele von etwa quer zur Hauptströmung angeordneten schlitzartigen Auslassöffnungen innerhalb des Bereiches zwischen Skelettlinie SL und Grenzlinie GL. Ein kleiner Pfeil deutet jeweils den austretenden Fluidstrahl an.

**[0040]** Erfindungsgemäß günstig ist eine Positionie-

5 rung einer Auslassöffnung 6 unmittelbar an der Profilsaugseite SS (siehe mittlere Öffnung) oder auch am Rand RF des üblicherweise an Schaufelenden vorgesehenen Rundungsradius, auch Filletradius genannt (siehe hintere Öffnung). Bei Anordnung stromauf der Vorderkantenlinie VKL ist die Nähe zur Skelettlinie günstig (siehe vordere Öffnung).

**[0041]** Durch jede dargestellte Auslassöffnung 6 verläuft quer oder schräg zur Hauptströmung und zur Strahlaustrittsrichtung die jeweilige Mittellinie. Handelt es sich, wie in diesem Beispiel dargestellt, um eine einzeln angeordnete Öffnung, wird die Mittellinie der Öffnung als die sogenannte Auslasstrajektorie TJ definiert.

**[0042]** Die rechte Bildseite zeigt erfindungsgemäße Beispiele von etwa zur Hauptströmung angeordneten Reihen von Auslassöffnungen. Ein kleiner Pfeil deutet jeweils den austretenden Fluidstrahl an. Die einzelnen Öffnungen können eckige oder runde/ovale Form besitzen und regelmäßig oder unregelmäßig von einander entfernt liegen.

**[0043]** Handelt es sich wie in diesem Beispiel dargestellt, um eine quer oder schräg zur Hauptströmung und zur Strahlaustrittsrichtung angeordnete Reihe von Öffnungen, wird die Verbindungslinie der Flächenschwerpunkte der zur Reihe gehörenden Öffnungen als Auslasstrajektorie TJ definiert.

**[0044]** Erfindungsgemäß günstig ist es, wenn die Auslasstrajektorie in ihrem gesamten Verlauf im Wesentlichen orthogonal zur örtlichen Tangente an die Skelettlinie ausgerichtet ist.

**[0045]** Die Fig. 4b zeigt auf der linken Seite eine Passage zwischen zwei benachbarten Profilen an der Hauptströmungspfadberandung. In der Passage ist mit gestrichelten Linien ein typisches Gefüge von Isobaren (Linien konstanten statischen Drucks) eingezeichnet. Wie zu erkennen ist, sind die Isobaren in einem weiten Bereich stromaufwärts geneigt und einheitlich gekrümmt. Aus funktionalen Gründen ist es daher erfindungsgemäß besonders günstig, wenn eine Auslasstrajektorie entsprechend dem Verlauf der Isobaren stromaufwärts geneigt und einheitlich gekrümmt ist. Zu Verdeutlichung ist eine Isobare durchgezogen gezeichnet.

**[0046]** Im rechten Bildteil ist die durchgezogene Isobare nochmals dargestellt. Ein Teil dieser Isobaren ist deckungsgleich mit der Trajektorie TJ der ebenfalls eingezeichneten Auslassöffnung.

**[0047]** Zudem kann es erfindungsgemäß besonders günstig sein, Auslassöffnungen noch näher an der Saugseite des Profils anzuordnen, limitiert durch eine Grenzlinie GL, die sich in einem kleineren konstanten Abstand  $a=0,7\cdot W+0,5\cdot d$  von der konvexen Seite der Skelettlinie befindet.

**[0048]** Die Fig. 4c zeigt die erfindungsgemäß besonders günstige Position der Auslasstraverse stromauf der im engsten Querschnitt zwischen zwei benachbarten Profilen verlaufende Linie LW.

**[0049]** Die Fig. 4d verdeutlicht die Definition der erfindungsgemäßen Neigung einer Auslasstrajektorie. Ein

Schaufelprofil und eine Auslassöffnung sind als Orientierungshilfe im Hintergrund gepunktet dargestellt.

**[0050]** Die Trajektorie verläuft zwischen dem Anfangspunkt TA und dem Endpunkt TE. Erfindungsgemäß entscheidend ist der Bereich von Winkelbeträgen, in dem der Neigungswinkel  $\alpha$ , den die Trajektorie TJ entlang ihres Verlaufes lokal mit der Skelettlinie einschließt, gehalten wird. Zur Ermittlung des Neigungswinkel  $\alpha$  in einem bestimmten Punkt T der Trajektorie TJ ist zunächst in Richtung der Saugseite des nächst liegenden Profils das Lot auf die Skelettlinie SL zu fallen. Dadurch ist der Lotpunkt C gegeben. Der Neigungswinkel  $\alpha$  wird schließlich wie im Bild eingezeichnet zwischen der Tangente an die Trajektorie im betrachteten Punkt T und der Tangente an die Skelettlinie im Lotpunkt C eingeschlossen.

**[0051]** Gemäß dieser Definition gilt für alle erfindungsgemäßen Auslassstrajektorien, dass der Neigungswinkel  $\alpha$  entlang der gesamten Trajektorie Werte im Bereich  $0^\circ < \alpha < 100^\circ$  besitzt.

**[0052]** Betrachtet man den Auslass in vergrößerter Darstellung in dem in Fig. 4b eingezeichneten Schnitt Z-Z, so kann der Verlauf des Auslasses und die Art des Überganges vom Auslass zur Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung unterschiedliche erfindungsgemäße Merkmale aufweisen.

**[0053]** Entsprechend Fig. 5a ist die einfachste Form eines erfindungsgemäßen Auslasses 6 ein schräges Einmünden in die Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung bei Ausbildung eines Knicks an der Einmündestelle (Punkt G) bei glattem Verlauf der Kontur der Hauptströmungspfadberandung. Der Mündungswinkel  $\beta$  wird am Knickpunkt G zwischen der Tangente an die innere Kontur des Auslasses und der Tangente an die Kontur der Hauptströmungspfadberandung gemessen und soll erfindungsgemäß kleiner als  $25^\circ$  sein ( $\beta < 25^\circ$ ).

**[0054]** Die Fig. 5b zeigt im Schnitt Z-Z einen düsenförmigen in Richtung der Hauptströmung geneigten und gekrümmten Verlauf des Auslasses, hier mit einem Absatz in der Kontur der Hauptströmungspfadberandung an der Mündungsstelle. Die erfindungsgemäßen Merkmale dieses Auslasses werden mit Hilfe von zwei einbeschriebenen Kreisen und der Mittellinie des Auslasses in der einen hier betrachteten Ebene beschrieben. Zunächst wird von außerhalb der Schaufel kommend der engste Querschnitt des Auslasses gefunden. Der engste Querschnitt hat die Weite e, muss aber nicht, wie hier dargestellt, direkt an der Austrittsöffnung des Auslasses liegen. Der Mittelpunkt des im engsten Querschnitt gefundenen Kreises ist mit ME gekennzeichnet. Weiter in den Auslass hineingehend können zur Bestimmung der Mittellinie GML des Auslasses weitere kontinuierlich größer werdende Kreise einbeschrieben werden. Entlang der Mittellinie GML wird die effektive Länge k des Auslasses gemessen, die weiter im Inneren der Schaufel durch den Mittelpunkt MI eines letzten einbeschriebenen Kreises begrenzt wird.

**[0055]** Die Fig. 5c zeigt im Schnitt Z-Z weitere Merkmale des erfindungsgemäßen Auslasses, hinsichtlich

seines Überganges zur Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung. Wie bereits in Fig. 5b besitzt der Engquerschnitt des Auslasses 6 die Weite e. Der Berührungspunkt des in den Engquerschnitt einbeschriebenen Kreises mit der inneren, an dieser Stelle konvexen Begrenzungskontur des Auslasses 6 ist mit P bezeichnet. Die Tangente TGA sowie die Tangente TGO dienen hier zur Beschreibung des Übergangs des Auslasses 6 in die Oberfläche der Schaufel. TGA ist die Tangente im Punkt P an die innere Auslassbegrenzungskontur. TGO ergibt sich als Tangente an einen Kreis (der nicht im Bild gezeigt ist) durch die Schaufeloberflächenpunkte X, Y und Z. Den Punkt X erhält man als Schnittpunkt einer tangential an den Engquerschnitt befindlichen Kreis angelegten Orthogonalen auf TGA. Der Punkt Y befindet sich in einem entlang der Schaufelaußenkontur gemessenen Abstand von zwei Engquerschnittsweiten (2e) stromauf von Punkt X. Der Punkt Z befindet sich in einem entlang der Schaufelaußenkontur gemessenen Abstand von zwei Engquerschnittsweiten (2e) stromauf von Punkt Y.

**[0056]** Von bevorzugter Bedeutung ist die Absatzhöhe f, die als orthogonale Abstand des Punktes Q von der Tangente TGO gemessen wird. Der Punkt Q befindet sich zwei Engquerschnittsweiten (2e) stromab von Punkt P.

**[0057]** Für die Gestalt des Auslasses gelten schließlich erfindungsgemäß bevorzugt folgende Festlegungen:

- a.) der Engquerschnitt des Auslasses befindet sich an oder nahe der Auslassöffnung
- b.) der Auslass besitzt vom Engquerschnitt ins Innere der Schaufel gehend eine über der gesamten effektiven Länge k kontinuierlich steigende Querschnittsweite (Düsenförmigkeit zwischen den Anfangs- und Endkreismittelpunkten MI und ME)
- c.) die effektive Länge k, bezogen auf die Engquerschnittsweite e, liegt im Wertebereich  $k/e > 0,7$
- d.) der zwischen den Tangenten TGO und TGA eingeschlossene Mündungswinkel  $\gamma$  liegt im Wertebereich  $0^\circ < \gamma < 60^\circ$
- e.) die Absatzhöhe f, bezogen auf die Engquerschnittsweite e, liegt im Wertebereich  $0 < f/e < 3$ .

**[0058]** Die Fig. 5d zeigt einen Auslass 6 mit zusätzlichen Gestaltungselementen. In besonderer erfindungsgemäßer Ausführung kann im Bereich des Auslasses 6 oder auch im Bereich des Hohlraumes mindestens ein Trennsteg 9 vorgesehen sein, der den herangeführten Fluidstrom unterteilt oder auch ähnlich wie ein Schaufelgitter umlenkt, bevor er als Tangentialstrahl auf die Schaufeloberfläche austritt.

**[0059]** Die Erfindung kann auch wie folgt beschrieben werden:

**[0060]** Strömungsarbeitsmaschine mit einem Hauptströmungspfad, in welchem zumindest eine Reihe von Schaufeln angeordnet ist, wobei mindestens ein Schaufelende einer Schaufelreihe eine feste Verbindung zur

Hauptströmungspfadberandung aufweist und mindestens eine mit Fluid versorgte Randkammer im Bereich dieses Schaufelendes außerhalb der Hauptströmungspfadberandung vorgesehen ist, wobei im Bereich des besagten festen Schaufelendes in der Umgebung mindestens einer Schaufelaußenseite mindestens ein Auslass vorgesehen ist, durch den Fluid aus der besagten mindestens einen Randkammer auf strömungsgünstige Weise auf die Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung in den Hauptströmungspfad gelangt, wobei:

a.) durch die Form und Orientierung des besagten mindestens einen Auslasses der entstehende Fluidstrahl unmittelbar nach seinem Eintritt in den Hauptströmungspfad bei Betrachtung in der Meridianebene (x-r-Ebene) im Wesentlichen tangential zur Kontur der Hauptströmungspfadberandung und bei Betrachtung in der durch Umfangsrichtung u und Meridianrichtung m gebildeten Ebene im Wesentlichen parallel zur örtlichen Tangente an die Skelettlinie des nächst gelegenen Profils und somit etwa in Richtung der Hauptströmung am besagten Schaufelende ausgerichtet ist,

b.) die Öffnung des mindestens einen Auslasses an der Hauptströmungspfadberandung in der durch die Umfangsrichtung u und die Meridianrichtung m gebildeten Ebene stromauf der Hinterkantenlinie zwischen der konvexen Seite der Skelettlinie des nächst gelegenen Profils und einer Grenzlinie vorgesehen ist, wobei die Skelettlinie hier durch die Mittellinie des Profils und ihre tangentialen Verlängerungen an Vorder- und Hinterkante gebildet wird und die Grenzlinie in einem gleichbleibenden Abstand  $a=W+0,5 \cdot d$  von der konvexen Seite der Skelettlinie durch die zwischen zwei Schaufelprofilen gebildete Passage verläuft, wobei W die Weite der Schaufelpassage an der engsten Stelle und d die Dicke des Profils an dieser Engstelle ist,

c.) die Erstreckung und der Verlauf einer einzeln vorgesehenen Auslassöffnung an der Hauptströmungspfadberandung durch eine Auslasstrajektorie charakterisiert wird, wobei die Auslasstrajektorie durch die transversale Mittellinie der Auslassöffnung (quer beziehungsweise schräg zur Hauptströmungsrichtung) gebildet wird,

d.) die Erstreckung und der Verlauf einer Reihe nebeneinander vorgesehener Auslassöffnungen an der Hauptströmungspfadberandung durch eine Auslasstrajektorie charakterisiert wird, wobei die Auslasstrajektorie durch die Verbindungslinie durch die Mittelpunkte der in Reihe formierten Auslassöffnungen gebildet wird,

e.) mindestens eine Auslasstrajektorie in ihrem gesamten Verlauf Werte des relativen Neigungswin-

kels  $\alpha$  im Bereich  $0^\circ < \alpha < 100^\circ$  aufweist, wobei der relative Neigungswinkel  $\alpha$  zwischen der örtlichen Tangente an die Auslasstrajektorie in einem Punkt T und der örtlichen Tangente an die Skelettlinie im Fußpunkt des Lots von T auf die Skelettlinie gemessen wird,

wobei bevorzugt die Öffnung des mindestens einen Auslasses an der Hauptströmungspfadberandung in der durch die Umfangsrichtung u und die Meridianrichtung m gebildeten Ebene stromauf der Hinterkantenlinie zwischen der konvexen Seite der Skelettlinie des nächst gelegenen Profils und einer Grenzlinie vorgesehen ist, wobei die Grenzlinie in einem gleichbleibenden Abstand  $a=0,7 \cdot W+0,5 \cdot d$  von der konvexen Seite der Skelettlinie durch die zwischen zwei Schaufelprofilen gebildete Passage verläuft,

wobei bevorzugt die Öffnung des mindestens einen Auslasses an der Hauptströmungspfadberandung in der durch die Umfangsrichtung u und die Meridianrichtung m gebildeten Ebene stromauf des engsten Querschnitt der zwischen zwei benachbarten Profilen gebildeten Passage vorgesehen ist,

wobei bevorzugt die Auslasstrajektorie in ihrem gesamten Verlauf im Wesentlichen orthogonal zur örtlichen Tangente an die Skelettlinie ausgerichtet ist,

wobei bevorzugt die Auslasstrajektorie entsprechend dem Verlauf der Isobaren an der Hauptströmungspfadberandung stromaufwärts geneigt und einheitlich gekrümmt ist,

wobei bevorzugt mindestens eine Auslassöffnung unmittelbar an die Profilsaußenseite angrenzt,

wobei bevorzugt mindestens eine Auslassöffnung unmittelbar an den Rand des Rundungsradius des Schaufelendes angrenzt,

wobei bevorzugt mindestens eine Auslassöffnung stromauf der Vorderkantenlinie in unmittelbarer Nähe der Skelettlinie vorgesehen ist,

wobei bevorzugt im Bereich des Auslasses oder auch im Bereich der Randkammer mindestens ein Trennsteg vorgesehen ist, der den herangeführten Fluidstrom unterteilt oder auch, ähnlich wie ein Schaufelgitter, umlenkt, bevor er auf die Hauptströmungspfadberandung austritt,

wobei bevorzugt das feste Schaufelende der Schaufelreihe ein lastübertragendes festes Schaufelende ist, und demzufolge das feste Schaufelende und die das Schaufelende umgebende bauliche Struktur keine rotierende Relativbewegung zueinander ausführen,

wobei bevorzugt mindestens eine Randkammer am lastübertragenden festen Schaufelende als Primärrandkammer vorgesehen ist, von der zusätzlich mindestens ein Strömungsweg in das Innere mindestens einer Schaufel führt,

wobei bevorzugt auf der gegenüberliegenden Seite des Hauptströmungspfades die Schaufelreihe ebenfalls ein festes Schaufelende besitzt und dort außerhalb der Hauptströmungspfadberandung mindestens eine Sekundärrandkammer vorgesehen ist, wobei die minde-

stens eine Sekundärrandkammer durch den mindestens einen Strömungsweg im Innern mindestens einer Schaufel mit der Primärrandkammer in Verbindung steht und durch mindestens einen Auslass Fluid aus der mindestens einen Sekundärrandkammer auf die Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung austritt, wobei bevorzugt das auf der gegenüberliegenden Seite des Hauptströmungspfadbes vorgesehenes Schaufelende ein lastfreies Schaufelende ist und dementsprechend das feste Schaufelende ein von einer Kavität umgebenes Deckband besitzt, wobei das Deckband und die das Deckband umgebende bauliche Struktur eine rotierende Relativbewegung ausführen und die Sekundärrandkammer innerhalb des Deckbandes vorgesehen ist, wobei bevorzugt ausgehend von mindestens einem Strömungsweg im Innern mindestens einer Schaufel zu mindestens einer der beiden Schaufeloberflächen (konvexe Saugseite und konkave Druckseite) zusätzlich mindestens ein Auslass geschaffen ist, durch den Fluid in den Hauptströmungspfad austritt, wobei bevorzugt bei Vorsehung mehrerer Auslässe an Schaufeloberflächen mindestens drei schlitzzartige im Wesentlichen in hauptströmungstransversaler Richtung nebeneinander und in einer Reihe angeordnete Auslässe an der Saugseite vorgesehen sind, wobei bevorzugt der mindestens eine Auslass schräg in die Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung einmündet und an der Einmündestelle ein Knick zur Kontur der Hauptströmungspfadberandung gegeben ist, wobei der Mündungswinkel  $\beta$ , gemessen am Knickpunkt zwischen der Tangente an die innere Kontur des Auslasses und der Tangente an die Kontur der Hauptströmungspfadberandung, Werte kleiner als  $25^\circ$  aufweist, wobei bevorzugt der mindestens eine Auslass die Form einer Düse aufweist, wobei bevorzugt die Kontur der Hauptströmungspfadberandung im Bereich einer Auslassöffnung glatt verläuft, wobei bevorzugt die Kontur der Hauptströmungspfadberandung im Bereich einer Auslassöffnung einen lokalen, auf die Hauptströmungsrichtung bezogen rücksprungartigen Absatz aufweisen, wobei bevorzugt die Gestalt mindestens eines Auslasses an einer Strömungspfadberandung an einem festen Schaufelende wie folgt festgelegt ist:

- a.) der Engquerschnitt des Auslasses befindet sich an oder nahe der Auslassöffnung
- b.) der Auslass besitzt, vom Engquerschnitt in die Wandung der Hauptströmungspfadberandung hineingehend, eine über der gesamten effektiven Länge  $k$  kontinuierlich steigende Querschnittsweite sowie eine Krümmung einheitlichen Vorzeichens zwischen den Anfangs- und Endkreismittelpunkten  $M_I$  und  $M_E$
- c.) die effektive Länge  $k$ , bezogen auf die Engquerschnittsweite  $e$ , liegt im Wertebereich  $k/e > 0,7$
- d.) Der zwischen den Tangenten TGO und TGA ein-

geschlossene Mündungswinkel  $\gamma$  liegt im Wertebereich

$$0^\circ < \gamma < 60^\circ$$

e.) die Absatzhöhe  $f$ , bezogen auf die Engquerschnittsweite  $e$ , liegt im Wertebereich

$$0 < f/e < 3.$$

**[0061]** Die vorliegende Erfindung erlaubt eine deutlich höhere aerodynamische Belastbarkeit von Rotoren und Statoren in Strömungsarbeitsmaschinen, bei gleichbleibendem oder erhöhtem Wirkungsgrad. Eine Reduzierung der Teilezahl und des Komponentengewichts von mehr als 20% scheint erreichbar. Bei Einsatz des Konzeptes im Hochdruckverdichter eines Flugtriebwerkes mit rund 25000 Pfund Schub ergibt sich eine Reduzierung des spezifischen Kraftstoffverbrauches von bis zu 0,5%.

#### Bezugszeichenliste

#### [0062]

- 1 Gehäuse
- 2 Ringkanal / Hauptströmungspfad
- 3 Rotortrommel (Nabe)
- 4 Maschinenachse
- 5 Schaufel / Schaufelreihe
- 6 Auslass
- 7 Randkammer
- 8 Tangentialstrahl
- 9 Trennsteg / Umlenkammer
- 10 Deckband
- 11 Dichtspitze
- 12 Kavität
- 13 Primärrandkammer
- 14 Sekundärrandkammer
- 15 Auslass

#### Patentansprüche

1. Strömungsarbeitsmaschine mit einem Hauptströmungspfad (2), in welchem zumindest eine Reihe von Schaufeln (5) angeordnet ist, wobei mindestens



ein Schaufelende einer Schaufelreihe eine feste Verbindung zur Hauptströmungspfadberandung aufweist und mindestens eine mit Fluid versorgte Randkammer (7) im Bereich dieses Schaufelendes außerhalb der Hauptströmungspfadberandung vorgesehen ist, wobei im Bereich des festen Schaufelendes im Bereich mindestens einer Schaufelsaugseite mindestens ein Auslass (6) vorgesehen ist, durch den Fluid aus der mindestens einen Randkammer (7) auf die Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung in den Hauptströmungspfad ausleitbar ist, **dadurch gekennzeichnet ist, dass**

a.) durch die Form und Orientierung des mindestens einen Auslasses (6) der entstehende Fluidstrahl unmittelbar nach seinem Eintritt in den Hauptströmungspfad bei Betrachtung in der Meridianebene (x-r-Ebene) im Wesentlichen tangential zur Kontur der Hauptströmungspfadberandung und bei Betrachtung in der durch Umfangsrichtung u und Meridianrichtung m gebildeten Ebene im Wesentlichen parallel zur örtlichen Tangente an die Skelettlinie des nächst gelegenen Profils einer Schaufel (5) und im Wesentlichen in Richtung der Hauptströmung am Schaufelende ausgerichtet ist,

b.) die Öffnung des mindestens einen Auslasses (6) an der Hauptströmungspfadberandung in der durch die Umfangsrichtung u und die Meridianrichtung m gebildeten Ebene stromauf der Hinterkantenlinie zwischen der konvexen Seite der Skelettlinie des nächst gelegenen Profils einer Schaufel (5) und einer Grenzlinie angeordnet ist, wobei die Skelettlinie durch die Mittellinie des Profils einer Schaufel (5) und tangentiale Verlängerungen an einer Vorder- und einer Hinterkante gebildet wird und die Grenzlinie in einem gleichbleibenden Abstand  $a=W+0,5 \cdot d$  von der konvexen Seite der Skelettlinie durch die zwischen zwei Schaufelprofilen gebildete Passage verläuft, wobei W die Weite der Schaufelpassage an der engsten Stelle und d die Dicke des Profils an dieser Engstelle ist,

c.) die Erstreckung und der Verlauf einer einzelnen vorgesehenen Auslassöffnung (6) an der Hauptströmungspfadberandung durch eine Auslasstrajektorie gebildet wird, wobei die Auslasstrajektorie durch die transversale Mittellinie der Auslassöffnung (6) gebildet wird,

d.) die Erstreckung und der Verlauf einer Reihe nebeneinander vorgesehener Auslassöffnungen (6) an der Hauptströmungspfadberandung durch eine Auslasstrajektorie gebildet wird, wobei die Auslasstrajektorie durch die Verbindungslinie durch die Mittelpunkte der in Reihe formierten Auslassöffnungen (6) gebildet wird,

e.) mindestens eine Auslasstrajektorie in ihrem gesamten Verlauf Werte des relativen Nei-

gungswinkels  $\alpha$  im Bereich  $0^\circ < \alpha < 100^\circ$  aufweist, wobei der relative Neigungswinkel  $\alpha$  zwischen der örtlichen Tangente an die Auslasstrajektorie in einem Punkt T und der örtlichen Tangente an die Skelettlinie im Fußpunkt des Lots von T auf die Skelettlinie gemessen ist.

2. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Öffnung des mindestens einen Auslasses (6) an der Hauptströmungspfadberandung in der durch die Umfangsrichtung u und die Meridianrichtung m gebildeten Ebene stromauf der Hinterkantenlinie zwischen der konvexen Seite der Skelettlinie des nächst gelegenen Profils einer Schaufel (5) und einer Grenzlinie vorgesehen ist, wobei die Grenzlinie in einem gleichbleibenden Abstand  $a=0,7 \cdot W+0,5 \cdot d$  von der konvexen Seite der Skelettlinie durch die zwischen zwei Schaufelprofilen gebildete Passage verläuft.
3. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Öffnung des mindestens einen Auslasses (6) an der Hauptströmungspfadberandung in der durch die Umfangsrichtung u und die Meridianrichtung m gebildeten Ebene stromauf stromauf des engsten Querschnitt der zwischen zwei benachbarten Profilen von Schaufeln (5) gebildeten Passage vorgesehen ist
4. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auslasstrajektorie in ihrem gesamten Verlauf im Wesentlichen orthogonal zur örtlichen Tangente an die Skelettlinie ausgerichtet ist oder dass die Auslasstrajektorie entsprechend dem Verlauf der Isobaren an der Hauptströmungspfadberandung stromaufwärts geneigt und einheitlich gekrümmt ist.
5. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine Auslassöffnung (6) unmittelbar an die Profilsaugseite angrenzt oder unmittelbar an den Rand des Rundungsradius des Schaufelendes angrenzt oder stromauf der Vorderkantenlinie in unmittelbarer Nähe der Skelettlinie vorgesehen ist.
6. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Bereich des Auslasses (6) und/oder im Bereich der Randkammer (7) mindestens ein Trennsteg (9) angeordnet ist, der den herangeführten Fluidstrom unterteilt und/oder umlenkt, bevor dieser auf die Hauptströmungspfadberandung austritt.
7. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das feste Schaufelende der Schaufelreihe (5) ein lastübertragendes festes Schaufelende ist, und das

festen Schaufelende und die das Schaufelende umgebende bauliche Struktur keine rotierende Relativbewegung zueinanderausführen.

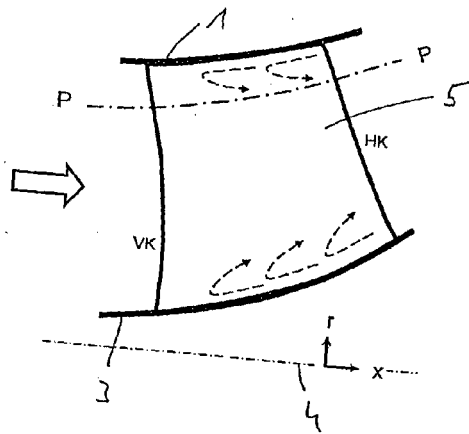
8. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens eine Randkammer (7) am lastübertragenden festen Schaufelende als Primärrandkammer (13) vorgesehen ist, von der zusätzlich mindestens ein Strömungsweg in das Innere mindestens einer Schaufel (5) führt. 5
9. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf der gegenüberliegenden Seite des Hauptströmungspfadbesitzes die Schaufelreihe (5) ein festes Schaufelende aufweist und außerhalb der Hauptströmungspfadberandung mindestens eine Sekundärrandkammer (14) ausgebildet ist, wobei die mindestens eine Sekundärrandkammer (14) durch den mindestens einen Strömungsweg im Innern mindestens einer Schaufel (5) mit der Primärrandkammer (13) in Verbindung steht und durch mindestens einen Auslass (6) Fluid aus der mindestens einen Sekundärrandkammer (14) auf die Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung austritt. Wobei insbesondere das auf der gegenüberliegenden Seite des Hauptströmungspfadbesitzes vorgesehene Schaufelende ein lastfreies Schaufelende ist und dementsprechend das feste Schaufelende ein von einer Kavität umgebenes Deckband (10) aufweist, wobei das Deckband (10) und die das Deckband umgebende bauliche Struktur eine rotierende Relativbewegung ausführen und die Sekundärrandkammer (14) innerhalb des Deckbandes (10) ausgebildet ist. 10 15 20 25 30 35
10. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** ausgehend von mindestens einem Strömungsweg im Innern mindestens einer Schaufel (5) zumindestens einer der beiden Schaufeloberflächen (konvexe Saugseite und konkave Druckseite) zusätzlich mindestens ein Auslass (15) geschaffen ist, durch den Fluid in den Hauptströmungspfad austritt. 40 45
11. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei mehreren Auslässen (15) an Schaufeloberflächen mindestens drei schlitzartige im Wesentlichen in hauptströmungstransversaler Richtung nebeneinander und in einer Reihe angeordnete Auslässe (15) an der Saugseite ausgebildet sind. 50
12. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mindestens eine Auslass schräg in die Oberfläche der Hauptströmungspfadberandung einmündet und an der Einmündestelle ein Knick zur Kontur der 55

Hauptströmungspfadberandung gegeben ist, wobei der Mündungswinkel  $\beta$ , gemessen am Knickpunkt zwischen der Tangente an die innere Kontur des Auslasses und der Tangente an die Kontur der Hauptströmungspfadberandung, Werte kleiner als  $25^\circ$  aufweist

13. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mindestens eine Auslass die Form einer Düse aufweist.
14. Strömungsarbeitsmaschine nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kontur der Hauptströmungspfadberandung im Bereich einer Auslassöffnung glatt verlaufend ausgebildet ist oder im Bereich einer Auslassöffnung (6) einen lokalen, auf die Hauptströmungsrichtung bezogen rücksprungartigen Absatz aufweisen.
15. Strömungsarbeitsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gestalt mindestens eines Auslasses (6) an einer Strömungspfadberandung an einem festen Schaufelende wie folgt festgelegt ist:
  - a.) der Engquerschnitt des Auslasses (6) befindet sich an oder nahe der Auslassöffnung
  - b.) der Auslass (6) besitzt, vom Engquerschnitt in die Wandung der Hauptströmungspfadberandung hineingehend, eine über der gesamten effektiven Länge  $k$  kontinuierlich steigende Querschnittsweite sowie eine Krümmung einheitlichen Vorzeichens zwischen den Anfangs- und Endkreismittelpunkten  $M_I$  und  $M_E$
  - c.) die effektive Länge  $k$ , bezogen auf die Engquerschnittsweite  $e$ , liegt im Wertebereich  $k/e > 0,7$
  - d.) der zwischen den Tangenten  $T_{GO}$  und  $T_{GA}$  eingeschlossene Mündungswinkel  $\gamma$  liegt im Wertebereich  $0^\circ < \gamma < 60^\circ$
  - e.) die Absatzhöhe  $f$ , bezogen auf die Engquerschnittsweite  $e$ , liegt im Wertebereich  $0 < f/e < 3$ .

Fig.1:

Meridianansicht, vereinfacht



Ansicht X-X

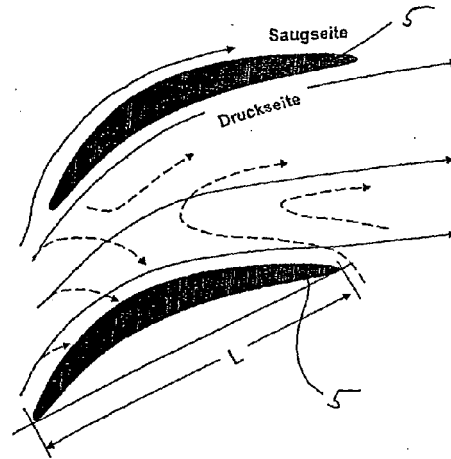


Fig.2:

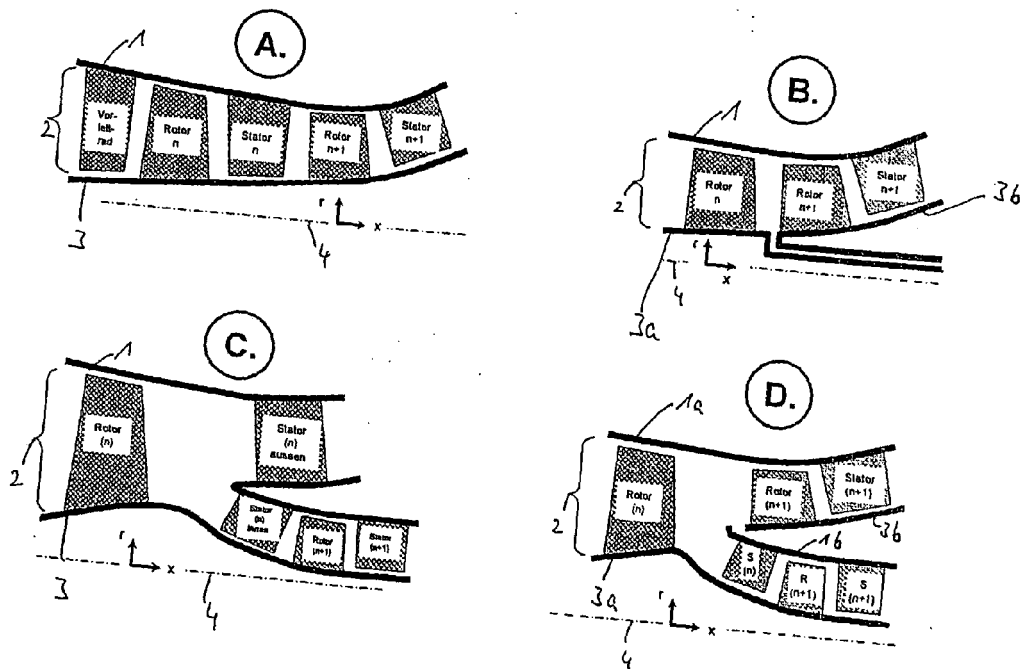


Fig.3a

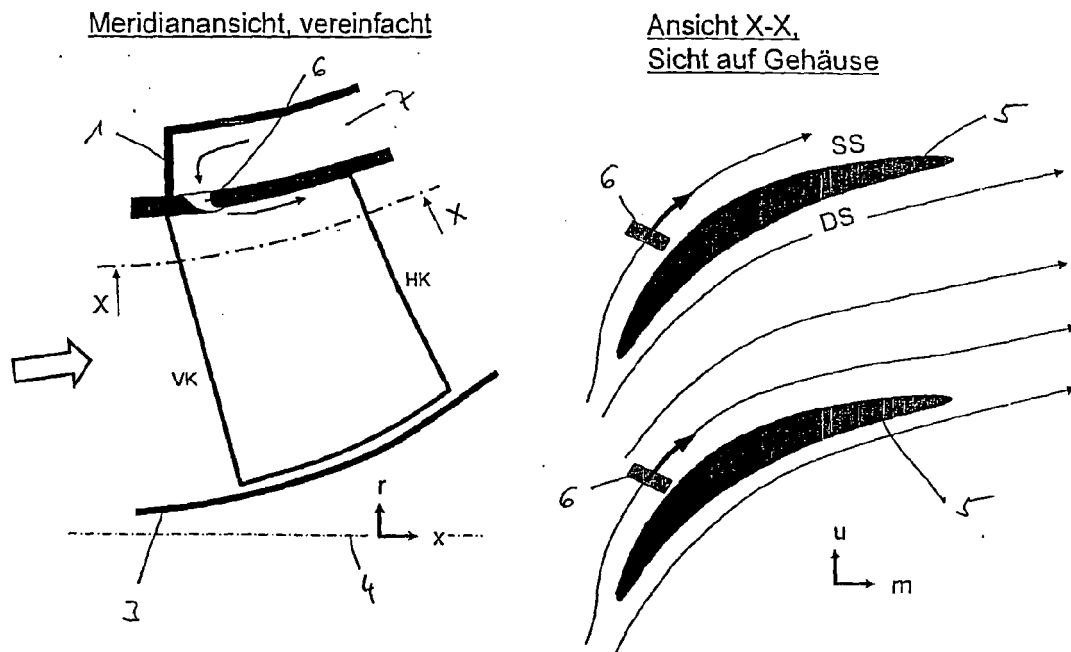


Fig.3b

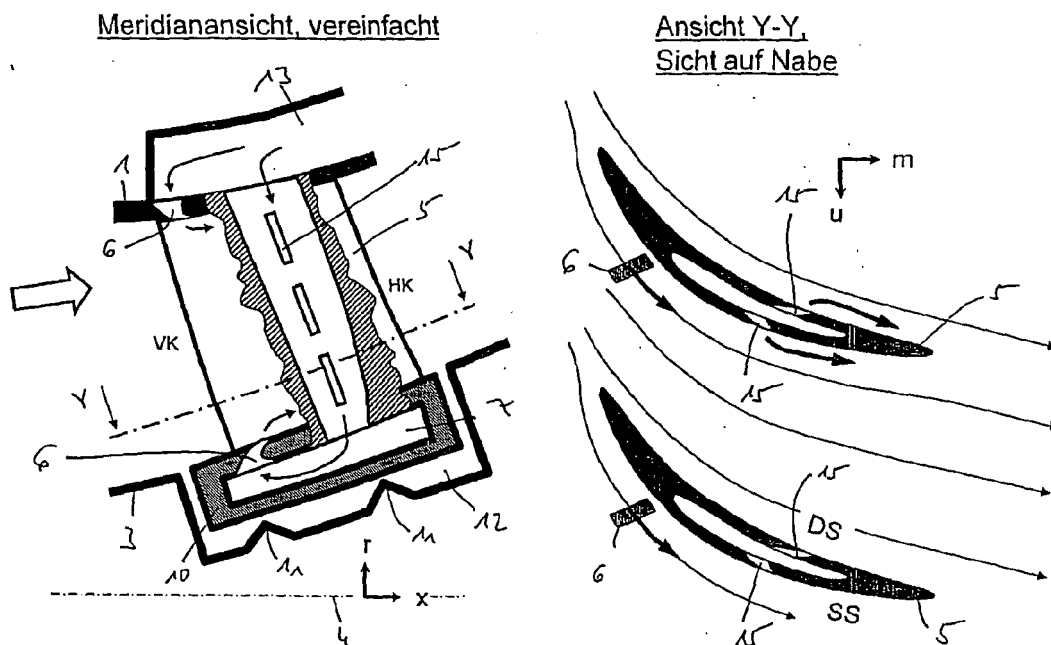


Fig.3c

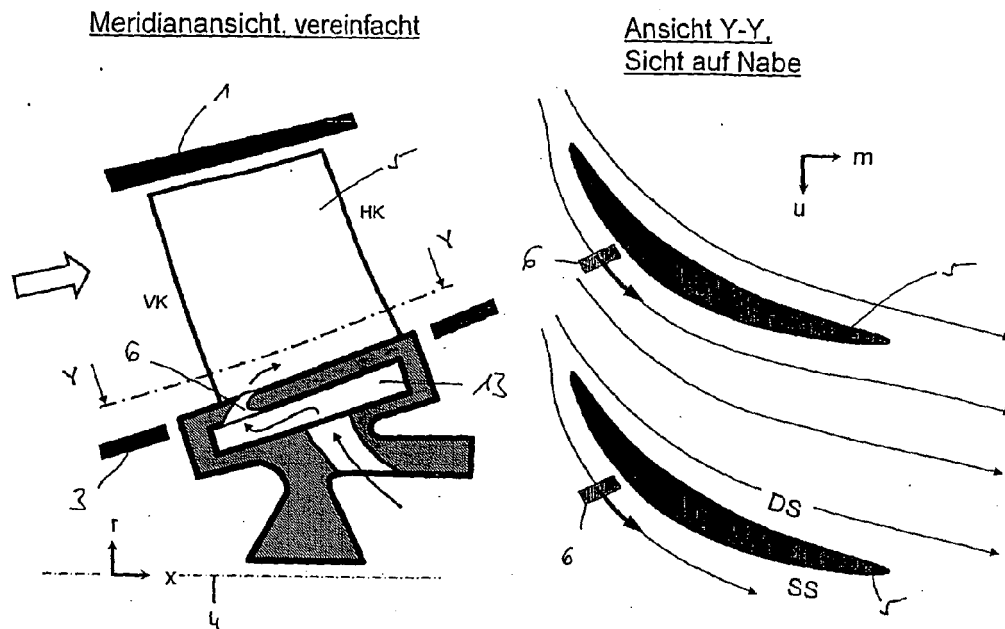


Fig.3d:

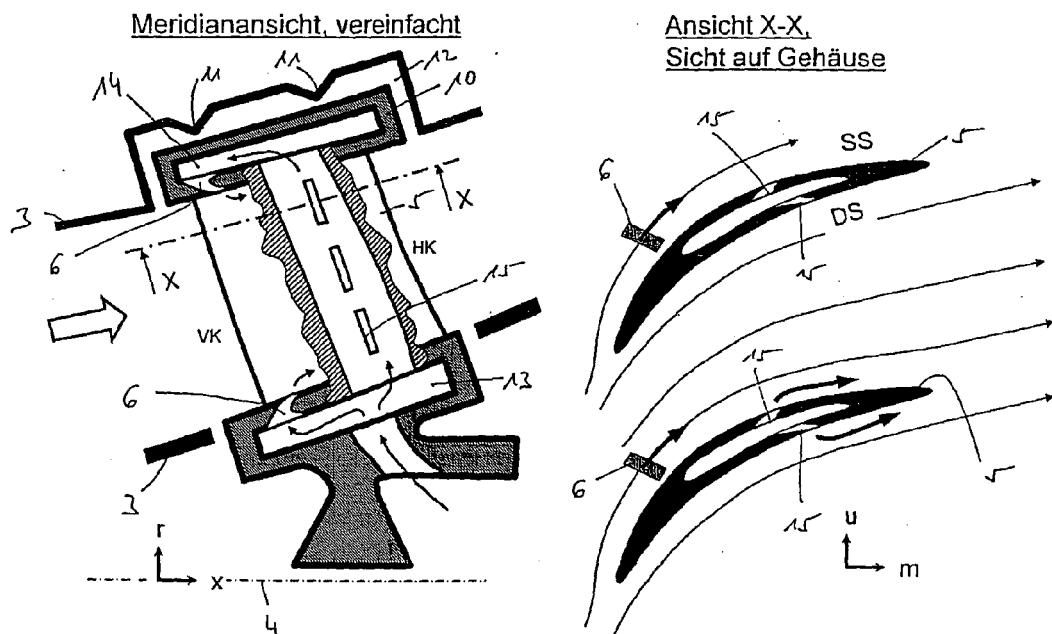


Fig.4a:

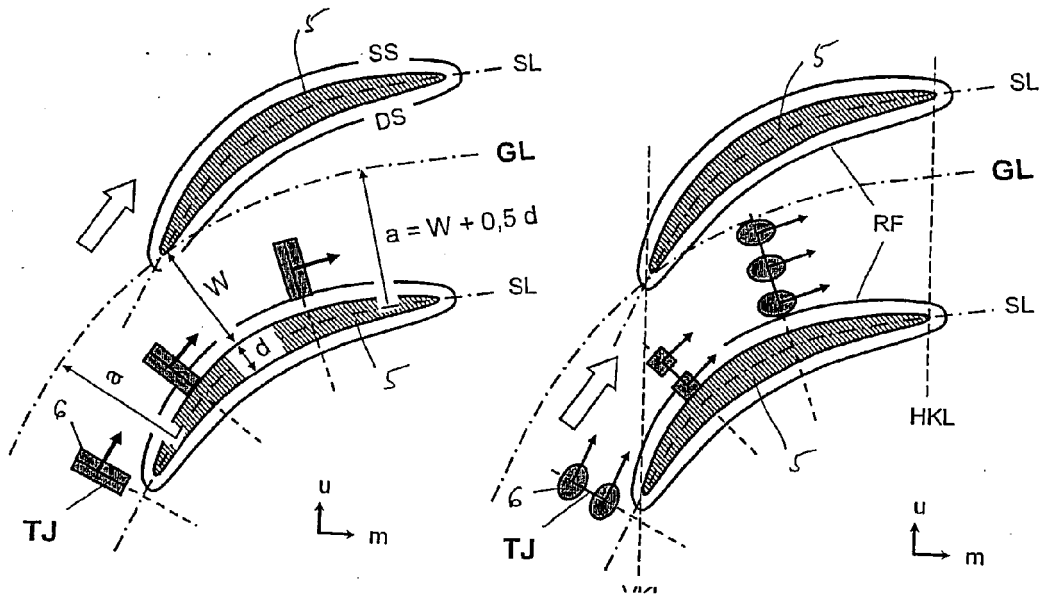


Fig.4b:

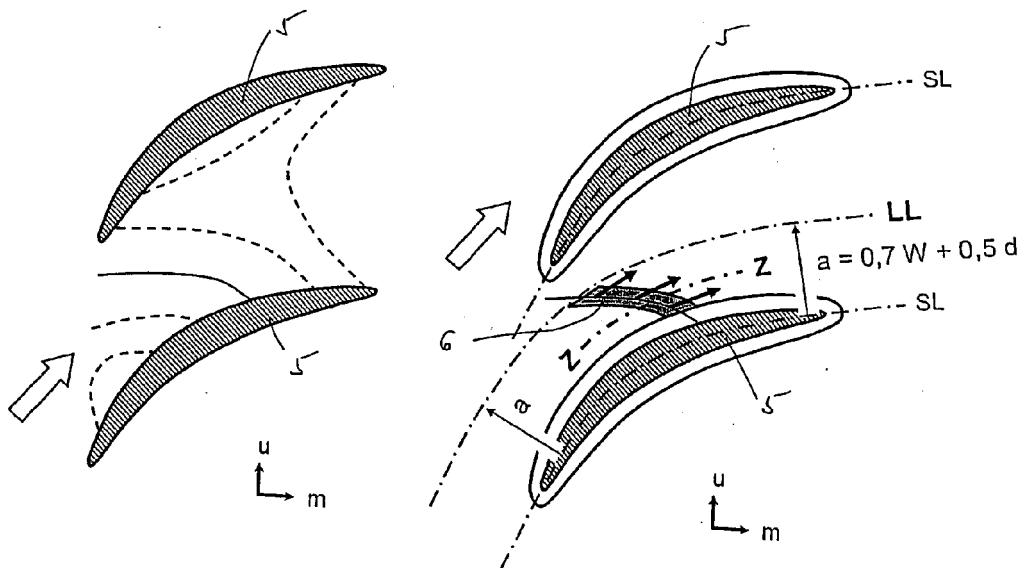


Fig.4c:

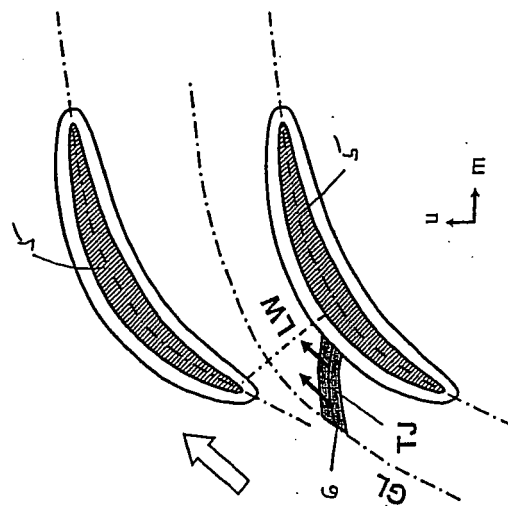


Fig.4d:

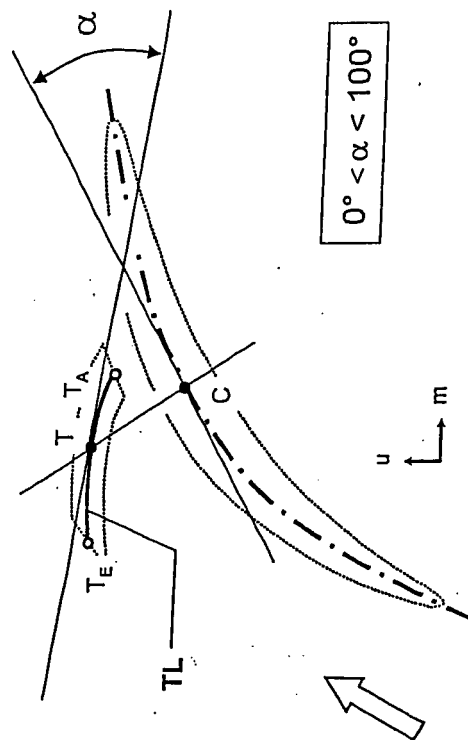


Fig.5a:

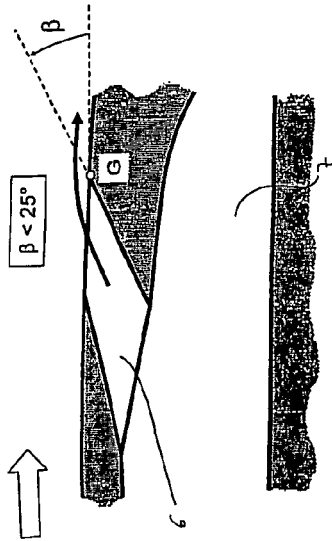


Fig.5b:

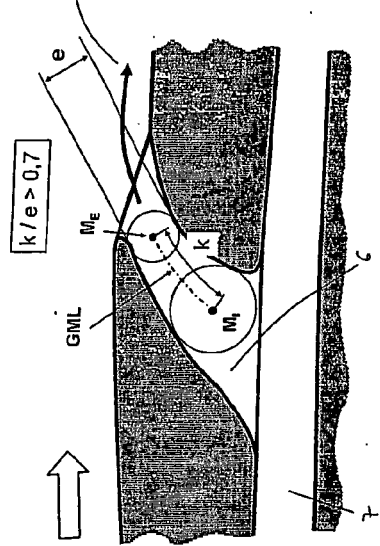


Fig.5c:

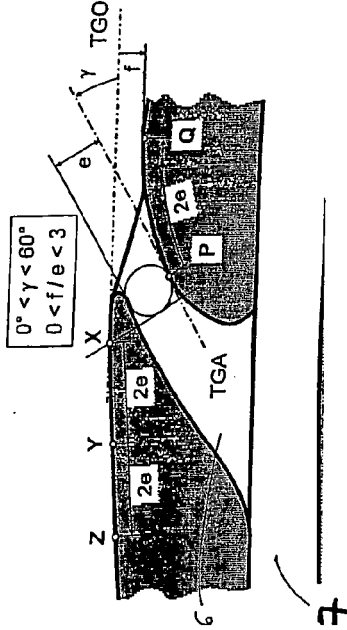
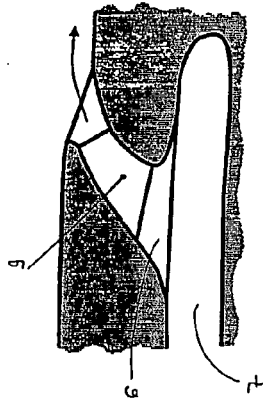


Fig.5d:





**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

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

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- US 5690473 A [0004]
- US 6334753 B [0004]
- US 2870957 A [0004]
- US 2933238 A [0004]
- US 5480284 A [0004]