

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
29. Dezember 2004 (29.12.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/113685 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **F01D 5/14**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/051174

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. Juni 2004 (21.06.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
103 27 977.6 21. Juni 2003 (21.06.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **ALSTOM TECHNOLOGY LTD** [CH/CH]; Brown
Boveri Strasse 7, CH-5400 Baden (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **GREIM, Ralf**
[DE/CH]; Bollstrasse 8, CH-5413 Birnenstorf (CH).
HAVAKECHIAN, Said [CH/CH]; Bruggerstrasse 133,
CH-5400 Baden (CH).

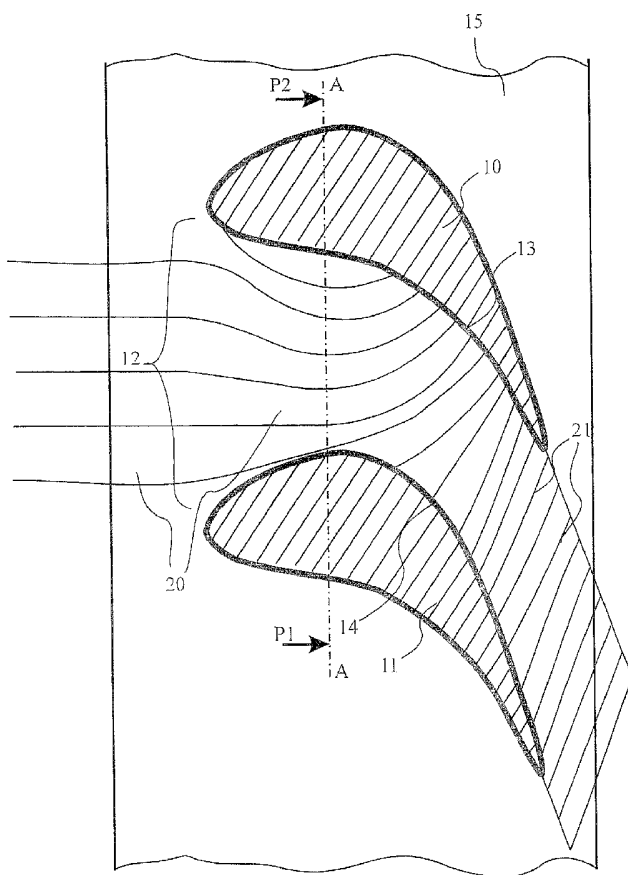
(74) Gemeinsamer Vertreter: **ALSTOM TECHNOLOGY
LTD**; CHTI Intellectual Property, Brown Boveri Str.
7/699/5, CH-5401 Baden (CH).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: LATERAL WALL EMBODIMENT FOR A DIVERTING FLOW CHANNEL

(54) Bezeichnung: SEITENWANDGESTALTUNG EINES UMLENKENDEN STRÖMUNGSKANALS



(57) Abstract: The invention relates to the embodiment of a lateral wall of a diverting flow channel, in particular for a blade array channel of a turbine engine. The flow channel comprises a first upper defining wall (15), a second lower defining wall and diverting elements (10, 11), for the lateral definition and diversion of the fluid flow, whereby centrifugal forces act on the fluid flow as a result of the diversion. According to the invention, at least one, preferably a number of, boundary layer flow guide elements are arranged on the upper defining wall (15) and/or the lower defining wall, for influencing the fluid flow close to the defining wall, such that the fluid flow close to the defining wall is subjected to additional forces, by means of the boundary layer flow guide elements, opposing the pressure gradients of the adjacent diverting elements (10, 11). The boundary flow guide elements are preferably embodied as ribs (20), each of which particularly advantageously has a profile obtained by axial symmetrical mirroring of the streamlines of the flow remote from the wall.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft die Gestaltung einer Seitenwand eines umlenkenden Strömungskanals, insbesondere eines Schaufelgitterkanals einer Turbomaschine. Der Strömungskanal umfaßt eine erste, obere Begrenzungswand (15) und eine zweite, untere Begrenzungswand sowie Umlenkelemente (10, 11) zur seitlichen Begrenzung und Umlenkung der Fluidströmung, wobei infolge der Umlenkung Zentrifugalkräfte auf die Fluidströmung einwirken. Erfindungsgemäß ist an der oberen Begrenzungswand (15) und/oder der unteren Begrenzungswand zumindest ein, vorzugsweise eine

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/113685 A1



KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Vielzahl von Grenzschichtströmungselementen zur Beeinflussung der Fluidströmung nahe der Begrenzungswand so angeordnet, daß die Fluidströmung nahe der Begrenzungswand durch das Grenzschichtströmungselement Zusatzkräfte jeweils entgegen dem Druckgradienten der benachbarten Umlenkelemente (10, 11) erfährt. Vorzugsweise sind die Grenzschichtströmungselemente als Rillen (20) ausgeführt, die besonders vorteilhaft jeweils einen durch achsensymmetrische Spiegelung der Stromlinien der wandfernen Strömung erhältlichen Verlauf aufweisen.

Seitenwandgestaltung eines umlenkenden Strömungskanals

5

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft die Gestaltung einer Seitenwand eines umlenkenden Strömungskanals, insbesondere eines Schaufelgitterkanals einer Turbomaschine, beispielsweise einer Dampf- oder Gasturbine oder eines Verdichters.

10

Stand der Technik

Wird eine in einem Strömungskanal geführte Strömung eines Fluides umgelenkt, so bilden sich Sekundärströmungen aus, die von der als Primärströmung bezeichneten Hauptströmung abweichen. Während die Hauptströmung im wesentlichen der Umlenkung der Kanalführung des Strömungskanals folgt, verlaufen die Sekundärströmungen in einer von der Kanalführung abweichenden Richtung und führen unter anderem zu Druck- und Mischungsverlusten der Strömung. Solche Sekundärströmungen sind bedingt durch die Ausbildung von Grenzschichten an den Begrenzungswänden des Strömungskanals. Grenzschichten bilden sich aufgrund der für eine Fluidströmung unmittelbar an einer Wand geltenden Haftbedingung mit einer zu Null werdenden Geschwindigkeit der Fluidströmung an der Wand. Ausgehend von der Null-Geschwindigkeit an der Wand wächst die Geschwindigkeit der Fluidströmung somit über einen gewissen Bereich, die Grenzschichtdicke, auf die Strömungsgeschwindigkeit der freien, wandfernen Fluidströmung. Die Grenzschichten sind somit in den an die Kanalbegrenzungswände angrenzenden Bereichen vorzufinden. Durch die Umlenkung der Strömung in dem Strömungskanal baut sich ferner im Bereich der Umlenkung ein quer zur Strömungsrichtung verlaufender, radialer Druckgradient auf, der zum Krümmungs-

- mittelpunkt der Umlenkung gerichtet ist. Die kurvenäußere Seite des umlenkenden Strömungskanals, an der ein höherer Druck anliegt, wird daher auch als Druckseite und die kurveninnere Seite als Saugseite bezeichnet. Außerhalb der Grenzschichten steht die Zentrifugalkraft, die infolge der Umlenkung auf jedes
- 5 Fluidpartikel als einem Einzelelement der Strömung einwirkt, und der radiale Druckgradient miteinander im Gleichgewicht. Dieses Kräftegleichgewicht führt letztlich dazu, daß ein in der freien Strömung befindliches Fluidpartikel dem Kanalverlauf folgt. In der Grenzschicht ist dieses Kräftegleichgewicht jedoch gestört. Während sich der radiale Druckgradient der Grenzschicht aufprägt, ist die
- 10 Strömungsgeschwindigkeit der Fluidpartikel kleiner als in der freien Strömung außerhalb der Grenzschicht. Dadurch kommt es zu einer Verstärkung der Umlenkung für ein in der Grenzschicht befindliches Fluidpartikel in Richtung des Krümmungsmittelpunktes. Das in der Grenzschicht befindliche Fluidpartikel wird somit zur Saugseite des umlenkenden Strömungskanals hin abgelenkt. Aus
- 15 Massenerhaltungsgründen muß auch eine umgekehrte Strömung von der Saug- zur Druckseite einsetzen. Diese umgekehrte Strömung tritt in der Kanalmitte auf, wodurch es zur Ausbildung eines Kanalwirbels als Sekundärströmung einer umgelenkten Strömung kommt.
- 20 Solche umlenkungsbedingten Sekundärströmungen treten insbesondere in Umlenkgittern von Turbomaschinen, beispielsweise in Gas- und Dampfturbinen, auf. Umlenkgitte sind hierbei sowohl in Verdichtern als auch in Turbinen in axialer, radialer oder auch diagonalen Bauweise anzutreffen und bestehen üblicherweise aus einer Vielzahl von gleichartigen Umlenkschaufeln, die meist äquidistant in ei-
- 25 nem in der Regel rotationssymmetrischen Strömungskanal angeordnet sind, wobei der Strömungskanal üblicherweise eine obere, gehäuseseitige Seitenwand als eine erste Begrenzungswand des Strömungskanals sowie eine untere, nabenseitige Seitenwand als eine zweite Begrenzungswand umfaßt. Die Seitenwände können dabei entweder durch ein feststehendes Gehäuse und eine rotierende
- 30 Welle oder auch durch mit den Schaufeln verbundene Schaufelfußplatten und/oder Schaufeldeckplatten gebildet werden. Aufgrund der Krümmung des Pro-

files der Schaufeln kommt es zu einer Umlenkung der durch das Schaufelgitter hindurchtretenden Strömung und hierdurch in jeder Passage zwischen zwei benachbarten Schaufeln, dem sogenannten Schaufelkanal, zur Ausbildung einer Sekundärströmung. Solche Sekundärströmungen sind unerwünscht, weil sie einerseits

5 Geschwindigkeitskomponenten senkrecht zur Hauptströmung aufweisen, die somit nichts zum Arbeitsumsatz der Verdichter- oder Turbinenstufe beitragen. Andererseits wird zur Ausbildung der Sekundärströmung und des Wirbels der Hauptströmung Energie entzogen, die zusammen mit entstehenden Reibungsverlusten der in unterschiedliche Richtungen gerichteten Strömungsvektoren zu einem unerwünschten Druckverlust der Strömung führt.

10

In der europäischen Patentanmeldeschrift EP 0 978 632 A1 des Anmelders wird zur Verminderung der in einer Turbomaschine auftretenden Strömungsverluste vorgeschlagen, daß an einer strömungsbegrenzenden Seitenwand zwischen zwei

15 Vollschaufeln zumindest eine Zwischenschaufel angeordnet wird, deren Profil näherungsweise gleich dem Profil der Vollschaufeln ausgebildet ist. Diese Zwischenschaufel halbiert hierbei näherungsweise den Seitenwandbereich zwischen jeweils zwei Vollschaufeln. Aufgrund der Halbierung des Seitenwandbereichs kann sich eine quer zur Hauptströmungsrichtung

20 ausbildende Sekundärströmung, die sich von der Druckseite der einen Schaufel her kommend aufbaut, nur über eine etwa halbierte Anlaufstrecke ausbilden bevor sie an der Zwischenschaufel aufläuft und hier in Richtung der Hauptströmung umgelenkt, von dieser erfaßt und fortgetragen wird. Auch in der zweiten Hälfte des halbierten Seitenwandbereichs kommt es durch die Halbierung des

25 Seitenwandbereichs nur zu einem verminderten Aufbau der Sekundärströmung. Durch die insgesamt vermindert stark ausgebildete Sekundärströmung kommt es hier zu geringeren Strömungsverlusten der Fluidströmung aufgrund der Sekundärströmung. Jedoch treten an der Zwischenschaufel zusätzliche Wandreibungsverluste auf, die die Verminderung der Sekundärströmungsverluste

30 zumindest teilweise wieder aufheben. Überdies kommt es zu einer nicht

unerheblichen Versperrung des Strömungskanals. Auch ist die Herstellung der Zwischenschaufeln sehr aufwändig.

5 In der Patentschrift US 6 213 711 sind zur Führung der Strömung nahe der Begrenzungswände rillenförmige Vertiefungen in den Seitenwänden sowie an den Schaufelfüßen angebracht. Die rillenförmigen Vertiefungen sind jeweils parallel zu dem Schaufelprofil mit einem Verlauf entsprechend den Freistromlinien der Strömung ausgebildet.

10 In einem Zwischenbericht über das Vorhaben Nr. 653 (AiF-Nr. 10 687) mit dem Thema „Optimierung der Turbinenseitenwandgestaltung im Gitterbereich im Hinblick auf die Einflüsse der Sekundärströmungen“ veröffentlicht im Heft R 492 (1997) auf der Informationstagung Turbinen, Frühjahr 1997, Frankfurt wird zur Beeinflussung der Sekundärströmung vorgeschlagen, die Seitenwand eines
15 Schaufelgitters durch Anordnung eines wellenförmigen Bumps oder einer Nabenabsenkung oder durch Kombinationen hiervon zu konturieren. Die Bumps und die Nabenabsenkungen verlaufen hierbei im wesentlichen senkrecht zur Hauptströmung und bewirken eine lokale Beeinflussung der seitenwandnahen Strömung. Jedoch war keine der untersuchten Anordnungen geeignet, die Verluste der Strömung gegenüber Gitterströmungen ohne Einbauten zu verbessern. Ferner sind
20 derartige Bumps oder eine Nabenabsenkung nur aufwändig herstellbar und verändern das Gesamtströmungsbild lokal erheblich.

25

Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, einen Strömungskanal gemäß der Gattung des unabhängigen Anspruchs 1 und insbesondere einen Schaufelgitterkanal zur Verfügung zu stellen, in dem eine Fluidströmung umgelenkt wird und gleichzeitig die Ausbildung einer Sekundärströmung vermindert oder sogar
30 ganz unterdrückt wird. Insbesondere soll die Maßnahme zur Verminderung oder

Unterdrückung der Ausbildung einer Sekundärströmung einfach und somit kostengünstig herstellbar sein.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch den Strömungskanal gemäß Anspruch 1 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung finden sich in den Unteransprüchen.

In dem erfindungsgemäßen Strömungskanal, der vorzugsweise in einer Turbomaschine, beispielsweise in einer Turbine oder einem Verdichter einer Gas- oder Dampfturbine angeordnet ist, wird eine Fluidströmung umgelenkt. Hierzu umfaßt der Strömungskanal eine erste, obere Begrenzungswand und eine zweite, untere Begrenzungswand sowie Umlenkelemente zur seitlichen Begrenzung und Umlenkung der Fluidströmung. Infolge der Umlenkung wirken Zentrifugalkräfte auf die Fluidströmung ein, wobei die Zentrifugalkräfte hierbei an jedem Partikel der Strömung angreifen. Erfindungsgemäß ist an der oberen Begrenzungswand und/oder der unteren Begrenzungswand zumindest ein Grenzschichtströmungsleitelement zur Beeinflussung der Fluidströmung nahe der Begrenzungswand so angeordnet, daß die Fluidströmung nahe der Begrenzungswand durch das Grenzschichtströmungsleitelement Zusatzkräfte jeweils in Richtung der Zentrifugalkräfte der ungestörten, begrenzungswandfernen Strömung erfährt. Besonders vorteilhaft ist das Grenzschichtströmungsleitelement hierbei so ausgebildet, daß diese Bedingung an jedem Ort längs des Grenzschichtströmungsleitelements erfüllt ist. Hierdurch wird das Verhältnis aus den an einem Fluidpartikel angreifenden Gesamtkräften als Summe der angreifenden Zentrifugalkräfte und der Zusatzkräfte und den an diesem Fluidpartikel angreifenden Druckkräften für ein in der Grenzschicht, d.h. nahe der Begrenzungswand, befindliches Fluidpartikel dem Verhältnis der entsprechenden Kräfte für ein außerhalb der Grenzschicht, d.h. wandfern, befindliches Fluidpartikel angeglichen. Es wurde gefunden, daß eine solche Angleichung des Kräfteverhältnisses zu einer Angleichung der Bewegungsbahn eines nahe der Begrenzungswand strömenden, also innerhalb der Grenzschicht strömenden Fluidpartikels zu einem Fluidpartikel außerhalb der Grenzschicht führt, wodurch es zumindest zu einer Verminderung der Ausbildung der von der

Hauptströmung abweichenden Sekundärströmung kommt. Die Bedingung, daß die Fluidströmung nahe der Begrenzungswand durch das Grenzschichtströmungsleitelement Zusatzkräfte jeweils in Richtung der Zentrifugalkräfte der ungestörten, begrenzungswandfernen Strömung erfährt, ist hierbei vorzugsweise
5 für jeden Ort eines Fluidpartikels an der Begrenzungswand individuell zu ermitteln und hieraus die Profilierung der Grenzschichtströmungsleitelementes abzuleiten. Eine Zwischenschaufel, die, wie in der EP 0 978 632 A1 vorgeschlagen, in gleicher Weise wie angrenzende Schaufeln profiliert ist, erfüllt diese Bedingung nicht.

10 Auch die in der US 6 213 711 beschriebenen rillenförmigen Wandvertiefungen üben keine Zusatzkräfte in Richtung der Zentrifugalkräfte der ungestörten, begrenzungswandfernen Strömung aus sondern führen die wandnahe Strömung längs des Verlaufs der Freistromlinien der Strömung. Hierdurch kommt es aber in jeder rillenförmigen Vertiefung zu einer Fluidanhäufung jeweils auf der
15 saugseitigen Seite der Rille. Letztlich wird der Vorgang der Sekundärströmungsbildung nahe der Begrenzungswand zwischen zwei Schaufeln durch die Ausführung gemäß US 6 213 711 nur in kleinere Einheiten unterteilt. Die Reduktion der Strömungsverluste kommt im wesentlichen daher, daß die einzelnen, in den rillenförmigen Vertiefungen sich ausbildenden Sekundärströmungen nicht mehr so tief in die ungestörte Strömung eindringen.
20

Demgegenüber erbringt die Erfindung eine wesentlich effizientere Verminderung der Strömungsverluste, da hier durch das Hervorrufen von Zusatzkräften in der
25 wandnahen Strömung unmittelbar der Ausbildung der Sekundärströmung entgegengewirkt wird. Somit unterscheidet sich die Erfindung sowohl im Wirkprinzip und in der Wirkungsweise als auch in der Ausprägung, insbesondere im Verlauf der Vertiefungen von den vorbekannten Lösungen.

30 Im Gegensatz zu der Konturierung der Seitenwand, wie in dem oben, zum Stand der Technik erwähnten Zwischenbericht über das Vorhaben Nr. 653 (AiF-Nr. 10

- 687) mit dem Thema „Optimierung der Turbinenseitenwandgestaltung im Gitterbereich im Hinblick auf die Einflüsse der Sekundärströmungen“ veröffentlicht im Heft R 492 (1997) auf der Informationstagung Turbinen, Frühjahr 1997, Frankfurt vorgeschlagen, ist die erfindungsgemäße Lösung einerseits mit erheblich
- 5 geringerem Aufwand realisierbar. Ferner findet mittels der erfindungsgemäßen Lösung eine gezielte Verminderung oder Unterdrückung der in der Grenzschicht auftretenden Sekundärströmung statt, wohingegen die in dem Zwischenbericht vorgeschlagenen Bumps, die im wesentlichen senkrecht zur
- 10 Hauptströmungsrichtung angeordnet sind, sowie auch die ebenso senkrecht zur Hauptströmungsrichtung ausgerichtete Nabenabsenkung keine solche gezielte Einflussnahme ermöglichen. Durch die Anordnung eines erfindungsgemäßen Grenzschichtströmungsleitelements wird nicht global die gesamte Strömung beeinflusst, sondern unmittelbar auf die Ausbildung der Sekundärströmung eingewirkt.
- 15
- Zweckmäßig ist das Grenzschichtströmungsleitelement eine linienförmige Vertiefung der Begrenzungswand mit zumindest einer ansteigenden Flanke. Die Zusatzkräfte werden bei Anströmung der ansteigenden Flanke hervorgerufen und wirken hier auf die Fluidströmung ein. Besonders vorteilhaft ist der Verlauf der
- 20 ansteigenden Flanke der Vertiefung so gewählt, daß die ansteigende Flanke jeweils lotrecht zur Richtung der lokal auftretenden Zentrifugalkraft ausgerichtet ist.
- Unter dem Begriff Vertiefung ist im Rahmen der vorliegenden Beschreibung eine
- 25 relative Niveauabsenkung der Begrenzungswand zu verstehen. Somit ist eine Vertiefung auch dann gegeben, wenn die Begrenzungswand lokal erhöht wurde, beispielsweise durch Anordnung eines in die Fluidströmung hineinragenden Stegs.
- 30 Besonders vorteilhaft ist die linienförmige Vertiefung als eine Rille ausgeführt. Wesentlich hierbei ist, daß die Rille mindestens eine Tiefe entsprechend einer

laminaren Unterschicht der Grenzschicht aufweist. Ferner muß die Rille mit einer hinreichenden Breite ausgeführt sein, so daß die Fluidströmung nahe der Wand in der Rille geführt wird. Die genaue Wahl der Breite der Rille hängt von den Fluidbedingungen der Fluidströmung, insbesondere der Viskosität des Fluides ab.

- 5 Wird die Rille mit einer zu kleinen Breite gewählt, so folgt die Fluidströmung nicht vollständig der Rille, sondern überspringt diese. Hierbei wäre die Wirksamkeit der Rille zur Verminderung der Sekundärströmung zumindest vermindert. Eine einseitig offene Rille, d.h. eine Rille mit nur einer Flanke, hingegen genügt der Anforderung hinreichender Breite.

10

In Abhängigkeit des Breiten-Tiefenverhältnisses sind die Rillen vorzugsweise entweder kreisbogenförmig bei einem kleinen Breiten-Tiefenverhältnis oder bei einem großen Breiten-Tiefenverhältnis zusammengesetzt aus einem oder zwei Kreisbögen, die die Flanken der Rille bilden, sowie einem flachen Bodensegment

15 ausgebildet. Die Kreisbögen können auch Ovalsegmente sein.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind zwei oder mehrere unmittelbar nebeneinander angeordnete Rillen in die Begrenzungswand eingebracht, deren Flanken dann jeweils Zwischenstege zwischen den Rillen ausbilden. Die

- 20 Rillen weisen eine sehr viel größere Breite auf als die Zwischenstege. Besonders zweckmäßig erstrecken sich die Rillen mitsamt den Zwischenstegen über die gesamte Begrenzungswand. Die Zwischenstege sollten mit einer Breite von wenigen Zehntel Millimeter bis maximal 1 bis 2 Millimeter ausgeführt sein.

- 25 Ein wesentlicher Vorteil der Erfindung rührt daher, daß die Rillen fertigungstechnisch leicht und kostengünstig hergestellt werden können. So ist es beispielsweise möglich, Rillen durch Fräsen herzustellen. Wird das Bauteil durch Gießen hergestellt, so ist es auch möglich, die Rillen bereits in dem Gußteil vorzusehen. In Abhängigkeit des Einsatzfalls ist es aber auch möglich, eine oder
- 30 mehrere Rillen mittels einer Materialauftragung oder auch durch Aufkleben einer dünnen folienartigen Rillenstruktur auf eine Basiswand aufzubringen.

Im Vergleich zu den in dem oben erwähnten Zwischenbericht vorgeschlagenen Bumps und der Nabenabsenkung sowie zu der in der EP 0 978 632 A1 vorgeschlagenen Anordnung einer Zwischenschaufel sind die Rillen gemäß der Erfindung somit mit wesentlich weniger Aufwand und somit erheblich kostengünstiger herstellbar.

Besonders bevorzugt ist die Erfindung in einem als Schaufelgitterkanal ausgebildeten Strömungskanal eines Verdichters oder einer Turbine realisiert. Der Schaufelgitterkanal umfaßt eine gehäuseseitige Begrenzungswand als obere Begrenzungswand sowie eine nabenseitige Begrenzungswand als untere Begrenzungswand. Als Umlenkelemente sind in dem Schaufelgitterkanal eine Mehrzahl von Schaufeln angeordnet, wobei jeweils zwei benachbarte Schaufeln einen Schaufelkanal des Strömungskanals einschließen. Erfindungsgemäß ist in zumindest einem Schaufelkanal ein Grenzschichtströmungsleitelement gemäß der obenstehenden Beschreibung angeordnet.

Bei dem Schaufelgitterkanal kann es sich sowohl um einen Stator als auch einen Rotor eines Verdichters oder einer Turbine handeln, wobei das Grenzschichtströmungsleitelement zweckmäßig nur an einer in Relation zu den Schaufeln ortsfesten Begrenzungswand angeordnet ist. Im Falle eines Stators bedeutet dies üblicherweise, daß das Grenzschichtströmungsleitelement nur an der gehäuseseitigen Begrenzungswand angeordnet ist; im Falle eines Rotors nur an der nabenseitigen Begrenzungswand. Sind die Schaufeln jedoch mit Deckplatten ausgestattet, so können an beiden Begrenzungswänden Grenzschichtströmungsleitelemente angeordnet werden.

Bevorzugt ist in zumindest einem der Schaufelkanäle und besonders bevorzugt sind in jedem der Schaufelkanäle an der gehäuseseitigen und/oder der nabenseitigen Begrenzungswand eine Mehrzahl von Grenzschichtströmungsleitelementen, vorzugsweise in näherungsweise gleichen Abständen zueinander, angeord-

net. Durch die Anordnung einer Mehrzahl von Grenzschichtströmungsleitelementen wird eine globale Beeinflussung der Fluidströmung nahe der Begrenzungswand erzielt. Im Gegensatz hierzu wirkt die im Stand der Technik in dem erwähnten Zwischenbericht vorgeschlagene Lösung der Anordnung eines Bumps
5 und/oder einer Nabenabsenkung nur lokal. Durch die globale Beeinflussung der Fluidströmung nahe der Begrenzungswand wird eine gleichmäßige Verminderung oder Unterdrückung der Ausbildung von Sekundärströmungen und somit eine gleichmäßige aerodynamische Belastung der Begrenzungswand erzielt. Insbesondere wird hierdurch auch verhindert, daß es in den Zwischenbereichen zwischen den Grenzschichtströmungsleitelementen zu einer nennenswerten Ausbildung einer Sekundärströmung kommt, woraus lokal erhöhte Strömungsverluste
10 resultieren würden.

Besonders bevorzugt sind die Grenzschichtströmungsleitelemente in jedem der
15 Schaufelkanäle gleichverteilt angeordnet, d.h. die Grenzschichtströmungsleitelemente sind in jedem der Schaufelkanäle an der jeweils selben Position angeordnet und weisen den jeweils selben Verlauf auf. Hierdurch ist gewährleistet, daß sich die Strömung durch das Schaufelgitter achsensymmetrisch ausbildet. Auch ist es fertigungstechnisch von Vorteil, eine über den Umfang einer Verdichter-
20 oder Turbinenstufe gleichverteilte Anordnung von Grenzschichtströmungsleitelementen vorzusehen. Bei Anordnungen, in denen der Abstand zwischen benachbarten Schaufeln am Umfang nicht gleichmäßig ist, mag es überdies von Vorteil sein, die Grenzschichtleitelemente dieser Ungleichverteilung ebenfalls proportional anzupassen.

25

In einem weiteren Aspekt der Erfindung hat es sich herausgestellt, daß es besonders vorteilhaft ist, wenn die Grenzschichtströmungsleitelemente jeweils einen Verlauf aufweisen, der durch achsensymmetrische Spiegelung der Stromlinien der wandfernen Strömung erhältlich ist. Mit wandferner Strömung ist die Fluidströmung außerhalb der Grenzschicht bezeichnet. Ferner ist unter einer Stromlinie
30 diejenige Bahn eines Fluidpartikels zu verstehen, die dieses Fluidpartikel beim

Durchströmen des Strömungskanals beschreibt bzw. idealerweise beschreiben sollte.

Der Verlauf der Grenzschichtströmungsleitelemente läßt sich hierbei in einfach durchzuführender Weise mittels der folgenden Vorgehensweise ermitteln. In einem ersten Schritt wird das üblicherweise rotationssymmetrisch angeordnete Schaufelgitter bzw. der üblicherweise rotationssymmetrisch angeordnete Schaufelgitterkanal zweckmäßig in der Ebene abgewickelt. Anschließend werden das in die Ebene abgewickelte Schaufelgitter mitsamt den Stromlinien der wandfernen Strömung achsensymmetrisch mit der Rotationsachse des Verdichters oder der Turbine als Spiegelungsachse gespiegelt. Die so erhaltenen, gespiegelten Stromlinien werden in einem weiteren Schritt um einen Staffelungswinkel von $\pm 30^\circ$ um die Rotationsachse, bevorzugt um einen Staffelungswinkel von $\pm 15^\circ$, besonders bevorzugt um einen Staffelungswinkel von 0° , umgestaffelt. Weiterhin werden die durch Spiegelung und Umstaffelung erhaltenen Stromlinien auf das abgewickelte Schaufelgitter bzw. den abgewickelten Schaufelgitterkanal übertragen. Wurde das ursprüngliche Schaufelgitter zur Ermittlung des Verlaufs der Grenzschichtströmungsleitelemente in der Ebene abgewickelt, so wird abschließend das abgewickelte Schaufelgitter bzw. der abgewickelte Schaufelgitterkanal wieder aufgewickelt. Die so erhaltenen gespiegelten und umgestaffelten Stromlinien geben den optimalen Verlauf der Grenzschichtströmungsleitelemente wieder.

Diese Vorgehensweise zur Bestimmung des Verlaufs der Grenzschichtströmungsleitelemente ist bei Kenntnis der Schaufelprofilierung einerseits einfach durchzuführen. Ferner erfüllen die so ermittelten Verläufe der Grenzschichtströmungsleitelemente überdies automatisch die Bedingung, daß die Fluidströmung nahe der Begrenzungswand durch die Grenzschichtströmungsleitelemente Zusatzkräfte jeweils in Richtung der Zentrifugalkräfte erfährt.

Zweckmäßig beträgt der Abstand zwischen den Grenzschichtströmungsleitelementen zwischen einem Achtel bis zu einem Viertel des Abstandes der angrenzenden Schaufeln zueinander.

- 5 Um eine optimale Wirkweise zu entfalten, ist ferner jedes der Grenzschichtströmungsleitelemente zweckmäßig mindestens mit einer Höhe ausgeführt, die einer Dicke einer laminaren Unterschicht der Fluidströmung entspricht, vorzugsweise mit einer um 10% größeren Höhe als die Dicke der laminaren Unterschicht und besonders bevorzugt mit einer um 20% größeren Höhe als die Dicke der la-
- 10 minaren Unterschicht. Mit dem Begriff der laminaren Unterschicht wird der wandnächste Teil der Grenzschicht, der laminar ausgebildet ist, bezeichnet. Die optimale Höhe hängt somit von dem Fluid, der lokalen Reynoldszahl, in die die Schaufelsehnenlänge und die lokale Strömungsgeschwindigkeit der Fluidströmung eingeht, sowie weiteren aero-thermodynamischen Parametern ab. Vorteil-
- 15 haft nimmt die Höhe der Grenzschichtströmungsleitelemente in dem Strömungskanal in Strömungsrichtung zu. Ist das Grenzschichtströmungsleitelement als Vertiefung und insbesondere als Rille ausgeführt, so ist mit Höhe die Tiefe der Vertiefung bzw. die Rillentiefe bezeichnet.
- 20 In den meisten Anwendungsfällen handelt es sich bei der Fluidströmung um eine Luftströmung, eine Luft-Rauchgasströmung oder um eine Dampfströmung. In diesen Fällen sind die Grenzschichtströmungsleitelemente zweckmäßig mit einer Höhe zwischen 0,2 mm und 0,5 mm, vorzugsweise mit einer Höhe zwischen 0,3 mm und 0,4 mm ausgeführt, wodurch eine gute Wirkweise bei nur geringfügig er-
- 25 höhten zusätzlichen Wandreibungsverlusten sichergestellt ist.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

- Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammen-
- 30 hang mit den Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 einen Ausschnitt eines in der Ebene abgewickelten Umfangsschnittes eines Schaufelgitters, wobei hier zusätzlich die Stromlinien einer wandfernen Fluidströmung durch das Schaufelgitter eingezeichnet sind;
5
- Figur 2 den Ausschnitt des Schaufelgitters aus Figur 1, wobei hier zusätzlich die Stromlinien der sich ausbildenden wandnahen Sekundärströmung der Fluidströmung durch das Schaufelgitter eingezeichnet sind;
10
- Figur 3 einen Ausschnitt eines in der Ebene abgewickelten Umfangsschnittes eines erfindungsgemäß ausgeführten Schaufelgitters;
- 15 Figur 4 ein durch Achsenspiegelung erhaltenes, zu dem Schaufelgitter aus Figur 3 symmetrisches Schaufelgitter zur Bestimmung der Verläufe der Grenzschichtströmungselemente;
- Figur 5 einen meridionalen Schnitt durch eine Turbomaschine umfassend einen Rotor und einen Stator, wobei die Schaufeln des Rotors und des Stators jeweils mit Deckbändern ausgestattet sind und erfindungsgemäß Grenzschichtströmungselemente an den Begrenzungswänden des Rotors als auch des Stators angeordnet sind;
20
- Figur 6 in einem Schnitt längs der Schnittlinie A-A eine Seitenansicht der Rillen aus Figur 3.
25
- Figur 7 in gleicher Ansicht wie Figur 6 eine weitere Ausführungsform der Rillen.
- 30 In den Figuren sind nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente und Bauteile dargestellt.

Wege zur Ausführung der Erfindung

Figur 1 zeigt einen Ausschnitt eines in die Ebene abgewickelten
5 Umfangsschnittes eines Schaufelgitters. Die Darstellung entspricht somit im wesentlichen einer Draufsicht auf das Schaufelgitter. Das in Figur 1 wiedergegebene Schaufelgitter kommt so z.B. in einer Axialturbine als Rotor oder Stator zum Einsatz. Gleichmaßen sind die im folgenden getroffenen Aussagen aber auch auf Verdichter- und Turbinenstufen in Axial-, Radial- oder
10 Diagonalbauweise übertragbar.

In dem in Figur 1 dargestellten Ausschnitt sind zwei in einer Reihe angeordnete Schaufeln 10, 11 dargestellt, die einen Schaufelkanal 12 einschließen. In der Blattebene nach unten wird der Schaufelkanal durch eine erste
15 Begrenzungswand 15, beispielsweise eine nabenseitige Begrenzungswand, begrenzt. In der Blattebene nach oben, und somit in der geschnittenen Darstellung nicht wiedergegeben, wird der Schaufelkanal durch eine zweite Begrenzungswand, beispielsweise eine gehäuseseitige Begrenzungswand, begrenzt. Ferner sind in Figur 1 die Stromlinien 16 einer in den Schaufelkanal 12
20 eintretenden und durch den Schaufelkanal hindurchströmenden Fluidströmung dargestellt. Die Stromlinien 16 geben hierbei die Stromlinien der Fluidströmung fern der ersten oder der zweiten Begrenzungswand wieder, d.h. die Stromlinien der freien Fluidströmung, die sich außerhalb der sich nahe den Begrenzungswänden ausbildenden Grenzschichten einstellt. Wie zu erkennen ist,
25 wird die in den Schaufelkanal 12 eintretende Fluidströmung durch die Profilierung der Schaufeln 10, 11 umgelenkt. Hierbei bildet sich in dem Schaufelkanal 12 auf der konkav gekrümmten Seite der einen Schaufel 10 eine Druckseite 13 des Schaufelkanals 12 und auf der konvex gekrümmten Seite der anderen Schaufel 11 eine Saugseite 14 des Schaufelkanals 12 aus.

In Figur 2 ist in derselben Perspektive wie in Figur 1 ein weiterer Schnitt durch den Ausschnitt des Schaufelgitters aus Figur 1 dargestellt, wobei die Schnittführung des hier dargestellten Schnittes nahe der ersten Begrenzungswand 15 verläuft. Die hier eingezeichneten Stromlinien 17 geben die wandnahe Strömung der durch den Schaufelkanal strömenden Fluidströmung wieder. Deutlich zu erkennen ist, wie sich aufgrund der im Verhältnis überhöhten Druckkraft eine verstärkte Umlenkung der wandnahen Fluidströmung in Richtung der Saugseite 14 des Schaufelkanals 12 einstellt. In der Ecke zwischen der saugseitigen Schaufel 11 und der Begrenzungswand kommt es hierdurch zu einer verstärkten Ansammlung von umgelenktem Fluid aus der Grenzschicht, welches sich aus Massenerhaltungsgründen längs der Schaufelkontur senkrecht zur Blattebene nach oben bewegt, um sich letztlich in einem in die Hauptströmung gerichteten Wirbel aufzurollen. Diese Sekundärströmung, die einerseits zu Strömungsverlusten in Form von Druck- und Mischungsverlusten der Strömung führt und andererseits auch nichts zur Energieumsetzung in einer Turbinen- oder Verdichterströmung beiträgt, ist unerwünscht.

Um solche Sekundärströmungen zu vermindern oder sogar ganz zu unterbinden, sieht die Erfindung vor, an der oberen Begrenzungswand und/oder der unteren Begrenzungswand zumindest ein Grenzschichtströmungsleitelement, vorzugsweise eine Vielzahl davon, zur Beeinflussung der Fluidströmung nahe der Begrenzungswand anzuordnen, so daß die Fluidströmung nahe der Begrenzungswand durch das Grenzschichtströmungsleitelement Zusatzkräfte jeweils in Richtung der Zentrifugalkräfte erfährt, die ja innerhalb der Grenzschicht bei Annäherung an die Begrenzungswand auf Null abfallen.

In Figur 3 ist in derselben Ansicht wie in den Figuren 1 und 2 ein Schnitt durch einen Ausschnitt eines erfindungsgemäß ausgeführten Schaufelgitters dargestellt, in dem eine Vielzahl von Grenzschichtströmungsleitelementen an der Begrenzungswand zwischen zwei benachbart angeordneten Schaufeln 10, 11 angeordnet sind. Die Darstellung der Erfindung in Figur 3 beschränkt sich hierbei auf den

Ausschnitt zwischen den beiden Schaufeln 10, 11, d.h. auf den durch die beiden Schaufeln 10, 11 eingeschlossenen Schaufelkanal 12. Bei den erfindungsgemäß an der Begrenzungswand angeordneten Grenzschichtströmungsleitelementen handelt es sich hier um Rillen 20 mit seitlich jeweils ansteigenden Flanken, wobei
5 je Rille 20 eine der Flanken so orientiert ist, daß die Fluidströmung nahe der Begrenzungswand bei der Anströmung der ansteigenden Flanke der Rille Zusatzkräfte jeweils in Richtung der Zentrifugalkräfte der begrenzungswandfernen Strömung erfährt. Die aneinander angrenzenden Flanken benachbarter Rillen bilden zwischen den Rillen jeweils einen Zwischensteg 21 aus, der in der Draufsicht ge-
10 mäß Figur 3 jeweils als Linie zu erkennen ist. Die Rillen sind hierbei mit einer sehr viel größeren Breite als die Zwischenstege ausgeführt. Die Rillen 20 im Eintrittsbereich des Schaufelkanals 12 sind hier mit einer Breite von etwa einem Fünftel des Abstandes der Schaufeln 10, 11 im Eintrittsbereich und die Rillen 20 im Austrittsbereich des Schaufelkanals 12 mit etwa einem Achtel des Abstandes der
15 Schaufeln 10, 11 im Austrittsbereich ausgeführt. Ferner sind die Rillen 20 mit einer Tiefe entsprechend in etwa der Dicke der laminaren Unterschicht der Fluidströmung ausgeführt. Die laminare Unterschicht der Fluidströmung ist maßgeblich an der Ausbildung einer Sekundärströmung beteiligt, da aufgrund der Laminarität dieser Schicht ein nur sehr geringer Partikel- und Energieaustausch mit den darüberliegenden Schichten und somit eine nur sehr geringe Re-Energetisierung der
20 laminaren Unterschicht stattfindet. Im vorliegenden Fall einer Turbinenstufe, durch die üblicherweise eine gasförmige Strömung beispielsweise großer Reynoldszahl strömt, beträgt die Rillentiefe etwa 0,3 mm. Die zwischen den Rillen 20 verbleibenden Zwischenstege 21 weisen dabei eine Breite von beispielsweise
25 einigen Zehntel Millimetern, z.B. 0,05 mm bis 0,1 mm, auf. Das Profil der Rillen 20 ist an den Flanken im wesentlichen kreisbogenförmig, und in der Rillenmitte jeweils abgeflacht.

In Figur 6 ist das Rillenprofil längs der in Figur 3 gekennzeichneten Schnittlinie A-
30 A in Seitenansicht dargestellt. Die in Figur 3 an die Schnittlinie angetragenen Pfeile P1 und P2 geben hierbei die Blickrichtung wieder. Wie in Figur 3 ist zur

Vereinfachung der Darstellung auch in Figur 6 das Schaufelgitter als ebenes Schaufelgitter dargestellt. In einer Turbomaschine hingegen sind die Schaufeln am Umfang der Maschine angeordnet, so daß beispielsweise die Begrenzungswand 15 einen Kreis beschreibt. Die wandnahe Strömung wird in
5 den Rillen geführt und erfährt jeweils an den Flanken 21F der Zwischenstege 21 Zusatzkräfte in Richtung der Zentrifugalkräfte der ungestörten, begrenzungswandfernen Strömung. Die Flanken 21F könnten hierbei auch mit geringerer oder auch größerer Steigung oder auch mit Radien an den Übergängen ausgeführt sein.

10

Besonders vorteilhaft ist es, eine kontinuierliche Steigung der Flanken 21 F, wie in Figur 7 dargestellt, gemäß einem Sägezahnprofil vorzusehen. Hier werden über die gesamte Flanke 21 F, die sich somit von dem einen Zwischensteg zu dem anderen Zwischensteg erstreckt, Zusatzkräfte erzeugt und auf die wandnahe
15 Strömung ausgeübt. Eine solche infinitesimale Erzeugung von Zusatzkräften wirkt der Ausbildung von Sekundärströmungen in äußerst effizienter Weise entgegen und führt somit zu einer optimalen Verminderung der Strömungsverluste.

Vorzugsweise werden die Rillen 20 mittels Fräsen in die Begrenzungswand 15
20 eingebracht, wobei die Zwischenstege 21 als Stege zwischen den Fräsrillen stehen bleiben. Wird die Begrenzungswand als Gußteil hergestellt, so können die Rillen alternativ auch bereits in dem Gußteil vorgesehen werden.

Das durch den in Figur 3 dargestellten Schaufelkanal 12 strömende Fluid der Fluidströmung nahe der Begrenzungswand 15 strömt somit zumindest teilweise in
25 den Rillen 20 der Begrenzungswand 15 und erfährt somit eine Führung durch die Rillen 20. Aufgrund der Umlenkung der Fluidströmung bildet sich, wie oben bereits erwähnt, in dem Schaufelkanal 12 ein Druckgradient von der Druckseite 13 zur Saugseite 14 hin aus, der dazu führt, daß die Fluidströmung nahe der
30 Begrenzungswand 15, wie in Figur 2 dargestellt, verstärkt auf die Saugseite 14 umgelenkt würde. Aufgrund der erfindungsgemäßen Ausführung der

Begrenzungswand mit Rillen 20 erfährt die wandnahe Fluidströmung hier aber durch die ansteigenden Flanken der in der Begrenzungswand eingebrachten Rillen Zusatzkräfte jeweils entgegen dieses oben genannten Druckgradienten, die dazu führen, daß auch die Fluidströmung nahe der Wand letztlich einem
5 ähnlichen oder demselben Strömungsverlauf wie die wandferne Fluidströmung folgt. Hierdurch kommt es zu keiner oder zumindest stark reduzierten Ausbildung einer Sekundärströmung und somit auch zu keinen oder nur sehr geringen durch die Sekundärströmung verursachten Strömungsverlusten der Fluidströmung durch den Schaufelkanal.

10

Ein wesentliches Kriterium für die Wirksamkeit der erfindungsgemäßen Anordnung der Grenzschichtströmungsleitelemente zur Beeinflussung der Fluidströmung nahe der Begrenzungswand ist, daß die Grenzschichtströmungsleitelemente so angeordnet sind, daß die Fluidströmung nahe der Begrenzungswand durch
15 das jeweilige Grenzschichtströmungsleitelement Zusatzkräfte jeweils dem Druckgradienten entgegengesetzt erfährt. Im Falle der Ausführung der Grenzschichtströmungsleitelemente als Rillen bedeutet dies, daß zu gewährleisten ist, daß die Fluidpartikel der Fluidströmung nahe der Begrenzungswand bei Anströmung der ansteigenden Flanken der Rillen Zusatzkräfte in Richtung der auf die freie Fluidströmung wirkenden Zentrifugalkräfte erfahren.
20

Um die Verläufe der als Rillen 20 ausgeführten und in einem Schaufelkanal anzuordnenden Grenzschichtströmungsleitelemente unter Berücksichtigung dieser Bedingung zu bestimmen, hat sich ein einfaches Ermittlungsverfahren als besonders
25 vorteilhaft und einfach handhabbar bewährt. Hierbei werden die sich in der wandfernen Strömung einstellenden Stromlinien achsensymmetrisch gespiegelt mit der Rotationsachse des Verdichters oder der Turbine als Spiegelungsachse. Um eine solche Spiegelung in einfacher Weise durchführen zu können, wird das üblicherweise rotationssymmetrische Schaufelgitter zunächst in der Ebene abgewickelt.
30 Nach der Spiegelung erhält man ein wie in Figur 4 dargestelltes, zu dem Schaufelgitter aus Figur 3 achsensymmetrisches Schaufelgitter mit den virtuellen

- Schaufeln 10', 11', 11'' mit achsensymmetrischen Stromlinienverläufen 16'. Die gespiegelten Stromlinien 16' werden nun umgestaffelt, wobei im vorliegenden Fall ein Staffelungswinkel von 15° gewählt wurde. Je nach Anwendungsfall kann hier vorteilhaft eine Umstaffelung der erhaltenen Stromlinien um +/- 30°, bevorzugt um
- 5 +/- 15°, besonders bevorzugt um 0° erfolgen, wobei alle Stromlinien um denselben Staffelungswinkel umgestaffelt werden. Die so erhaltenen gespiegelten und umgestaffelten Stromlinien 16' sind nun auf das ursprüngliche Schaufelgitter zu übertragen, wobei die übertragenen Stromlinien die Rillenverläufe 20 und dementsprechend auch die Verläufe der ansteigenden Rillenflanken sowie der in
- 10 Figur 3 als Linien zu erkennenden Zwischenstege 21 wiedergeben. Wurde das Schaufelgitter zur Bestimmung der Verläufe der Grenzschichtströmungselemente in die Ebene abgewickelt, so ist das abgewickelte Schaufelgitter auch wieder aufzuwickeln.
- 15 Des weiteren ist in Figur 5 ein meridionaler Schnitt durch eine Turbomaschinenstufe umfassend einen Rotor 30 und einen Stator 35 dargestellt, wobei die Schaufeln 31 des Rotors 30 und die Schaufeln 36 des Stators 35 jeweils mit Deckbändern 37, 33 sowie Schaufelfüßen 32, 38 ausgestattet sind. Der Strömungskanal erstreckt sich somit jeweils von dem einen Deckband 33, 37 zu der anderen Be-
- 20 grenzungswand, d.h. den Schaufelfüßen 32, 38. In diesem Fall können, wie hier dargestellt, sowohl an den nabenseitigen Schaufelfüßen 32 und den Deckbändern 37, die hier die nabenseitigen Begrenzungswände des Strömungskanals bilden, als auch an den gehäuseseitigen Deckbändern 33 und den Schaufelfüßen 38, die hier die gehäuseseitigen Begrenzungswände des Strömungskanals
- 25 bilden, erfindungsgemäß Grenzschichtströmungselemente, insbesondere Rillen 20a, 20b, 20c, 20d, angeordnet sein.

Bezugszeichenliste

	10	erste Schaufel
	11	zweite Schaufel
5	12	Schaufelkanal
	13	Druckseite
	14	Saugseite
	15	Begrenzungswand
	16	Stromlinien der freien Fluidströmung
10	17	Stromlinien der Fluidströmung nahe der Begrenzungswand
	10', 11', 11''	achsensymmetrische Schaufeln
	16'	achsensymmetrische Stromlinien
15	20	Rille, Grenzschichtströmungsleitelement
	20a, 20b,	
	20c, 20d	Rille, Grenzschichtströmungsleitelement
	21	Zwischensteg
	21F	Flanke
20		
	30	Rotor
	31	Rotorschaukel
	37, 33	Deckband
	35	Stator
25	36	Statorschaukel
	32, 38	Schaukelfuß
	A-A	Schnittlinie
	P1, P2	Blickrichtungspfeile

Patentansprüche

1. Strömungskanal, insbesondere in einer Turbomaschine, in dem eine Fluidströmung umgelenkt wird,
5 mit einer ersten, oberen Begrenzungswand und einer zweiten, unteren Begrenzungswand sowie Umlenkelementen zur seitlichen Begrenzung und Umlenkung der Fluidströmung, wobei infolge der Umlenkung Zentrifugalkräfte auf die Fluidströmung einwirken, dadurch gekennzeichnet, daß
10 an der oberen Begrenzungswand und/oder der unteren Begrenzungswand zumindest ein Grenzschichtströmungsleitelement zur Beeinflussung der Fluidströmung nahe der Begrenzungswand so angeordnet ist, daß die Fluidströmung nahe der Begrenzungswand durch das Grenzschichtströmungsleitelement Zusatzkräfte jeweils in Richtung der Zentrifugalkräfte der ungestörten, begrenzungswandfernen Strömung erfährt.
15
2. Strömungskanal nach Anspruch 1, wobei das Grenzschichtströmungsleitelement eine linienförmige Vertiefung der Begrenzungswand mit zumindest einer ansteigenden Flanke ist, wobei die Zusatzkräfte bei Anströmung der
20 ansteigenden Flanke auf die Fluidströmung einwirken.
3. Strömungskanal nach Anspruch 2, wobei die linienförmige Vertiefung eine Rille (20) ist, und die Rille (20) mindestens eine Tiefe entsprechend einer laminaren Unterschicht einer Grenzschicht der Fluidströmung aufweist.
25
4. Strömungskanal nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Strömungskanal ein Schaufelgitterkanal eines Verdichters oder einer Turbine, insbesondere eines Axialverdichters oder einer Axialturbine, ist mit der oberen Begrenzungswand als gehäuseseitiger Begrenzungswand und der
30 unteren Begrenzungswand als nabenseitiger Begrenzungswand (15) und des weiteren in dem Schaufelgitterkanal eine Mehrzahl von Schaufeln (10,

11) als Umlenkelemente angeordnet sind, wobei jeweils zwei benachbarte Schaufeln (10, 11) einen Schaufelkanal (12) des Strömungskanals einschließen und in zumindest einem Schaufelkanal ein Grenzschichtströmungsleitelement (20) angeordnet ist.

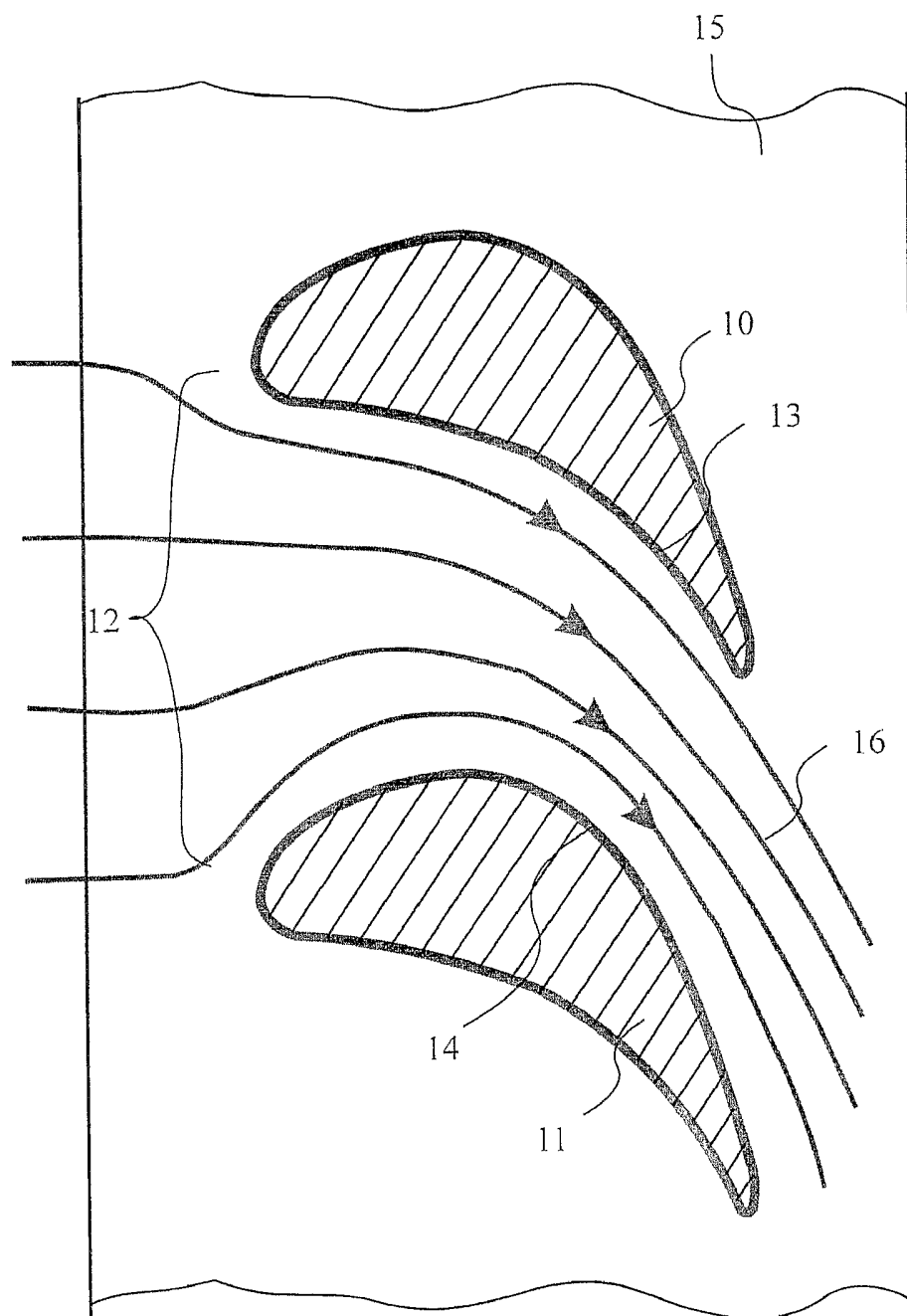
5

5. Strömungskanal nach Anspruch 4, wobei in jedem der Schaufelkanäle an der gehäuseseitigen und/oder der nabenseitigen Begrenzungswand eine Mehrzahl von Grenzschichtströmungsleitelementen (20) angeordnet sind und die Grenzschichtströmungsleitelemente (20) in jedem der Schaufelkanäle (12) an der jeweils selben Position angeordnet sind und den jeweils selben Verlauf aufweisen.
- 10 6. Strömungskanal nach einem der Ansprüche 4 oder 5, wobei das Grenzschichtströmungsleitelement (20) jeweils einen Verlauf aufweist, der gemäß folgender Vorgehensweise erhältlich ist:
- 15
- Achsensymmetrisches Spiegeln der Stromlinien (16) der wandfernen Strömung um eine Rotationsachse des Verdichters oder der Turbine als Symmetrieachse;
 - Umstaffeln der durch Spiegelung erhaltenen Stromlinien (16') um einen Staffelungswinkel von $\pm 30^\circ$ um die Rotationsachse, bevorzugt von $\pm 15^\circ$, besonders bevorzugt um 0° ;
 - Übertragen der durch Spiegelung und Umstaffelung erhaltenen Stromlinien (16') auf den Schaufelgitterkanal.
- 20
- 25 7. Strömungskanal nach Anspruch 6, wobei in einem ersten Schritt zur Bestimmung des Verlaufs der Grenzschichtströmungsleitelemente der Schaufelgitterkanal in der Ebene abgewickelt wird und in einem letzten Schritt der in die Ebene abgewickelte Schaufelgitterkanal wieder aufgewickelt wird.
- 30 8. Strömungskanal nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Abstand zwischen den Grenzschichtströmungsleitelementen zwischen ei-

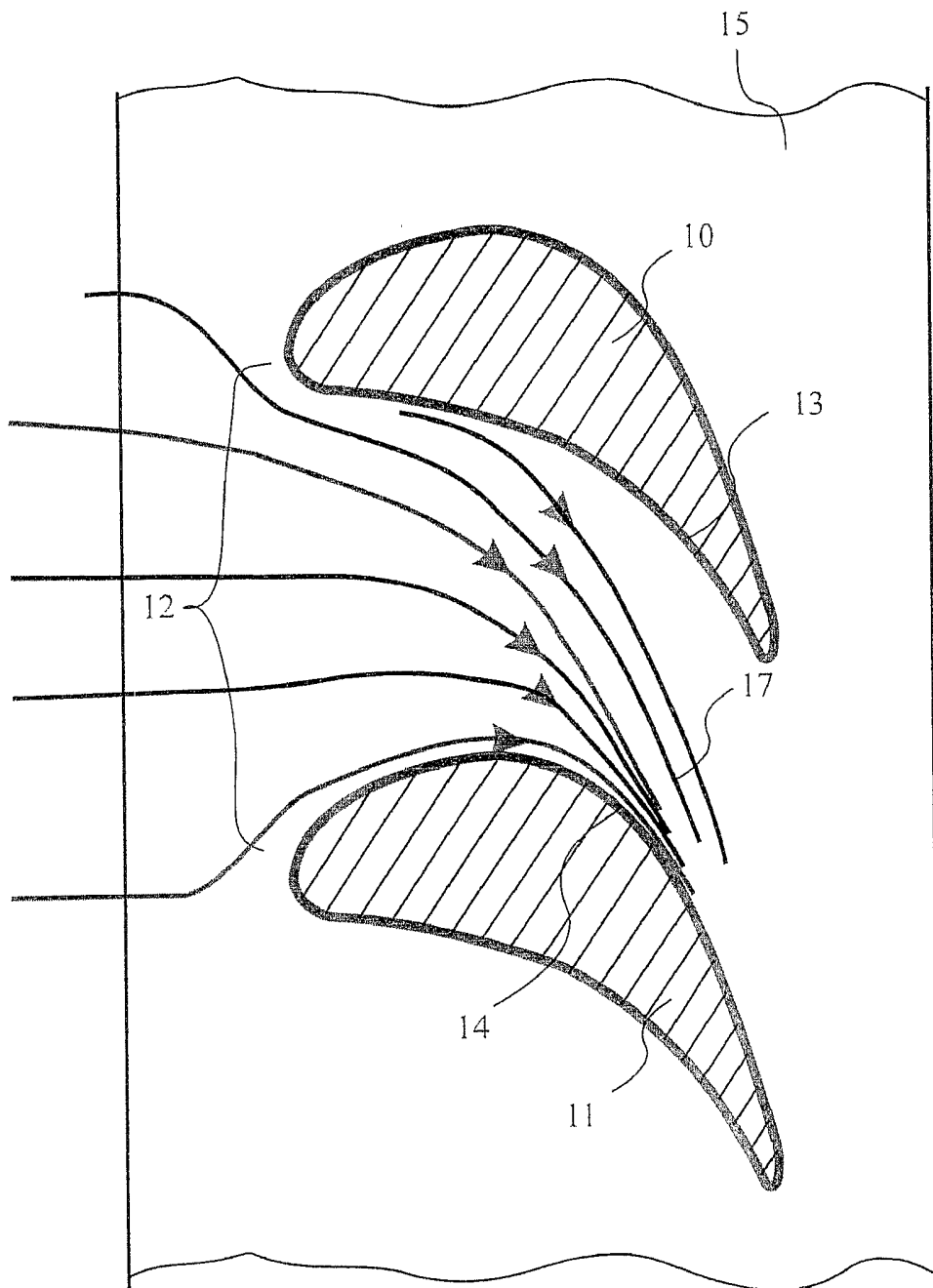
nem Achtel und einem Viertel des Abstandes der angrenzenden Schaufeln (10, 11) beträgt.

- 5 9. Strömungskanal nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die ansteigende Flanke eines jeden der Grenzschichtströmungselemente (20) mindestens mit einer Höhe ausgeführt ist, die einer Dicke einer laminaren Unterschicht der Fluidströmung entspricht, vorzugsweise mit einer um 10% größeren Höhe als die Dicke der laminaren Unterschicht und besonders bevorzugt mit einer um 20% größeren Höhe als die Dicke der laminaren Unterschicht.
- 10 10. Strömungskanal nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Fluidströmung eine Luftströmung ist und die ansteigende Flanke eines jeden der Grenzschichtströmungselemente (20) mit einer Höhe zwischen 0,2 mm und 0,5 mm, vorzugsweise mit einer Höhe zwischen 0,3 mm und 0,4 mm ausgeführt ist.
- 15

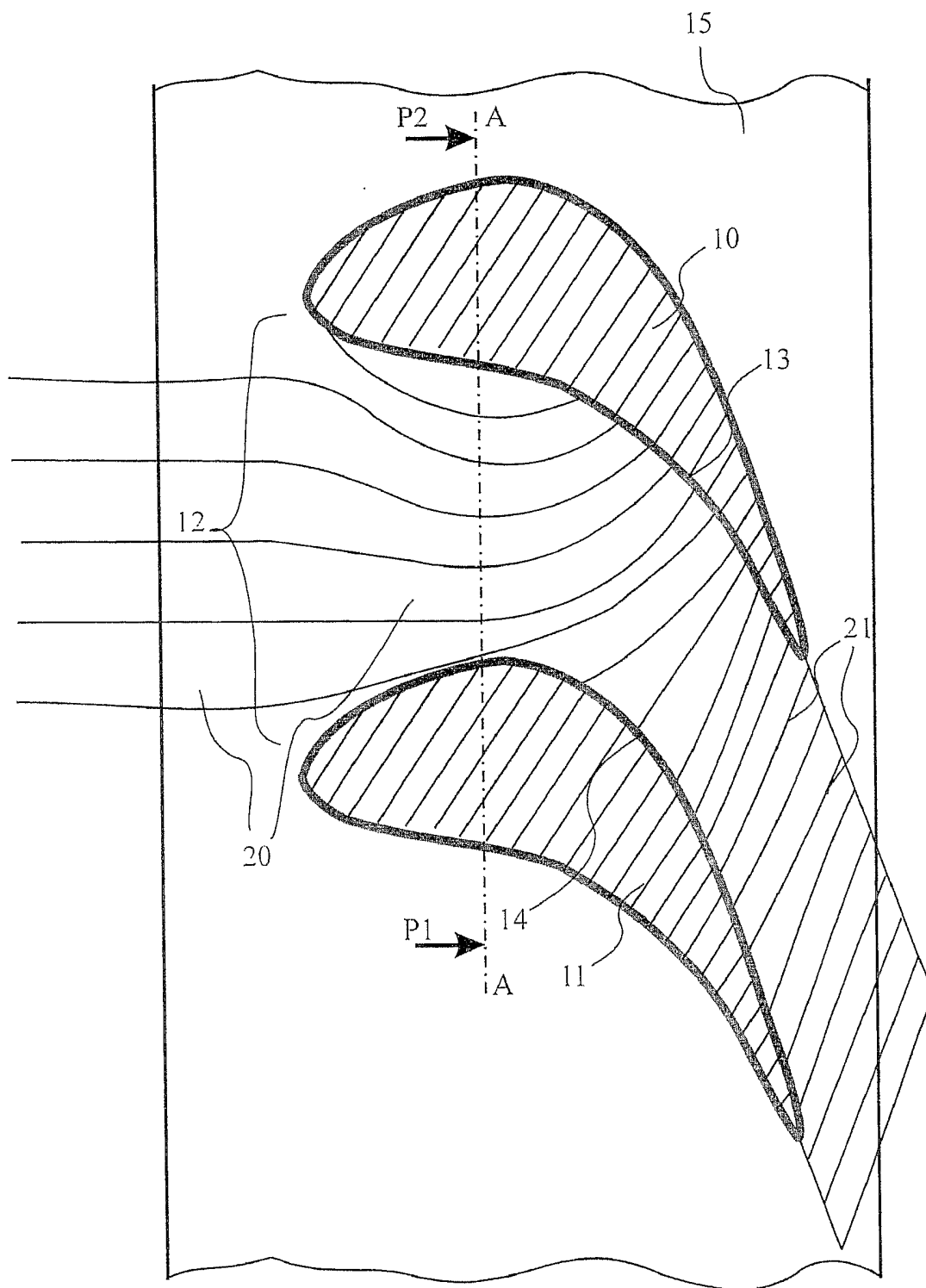
1/7

*Fig. 1*

2/7

*Fig. 2*

3/7

*Fig. 3*

4/7

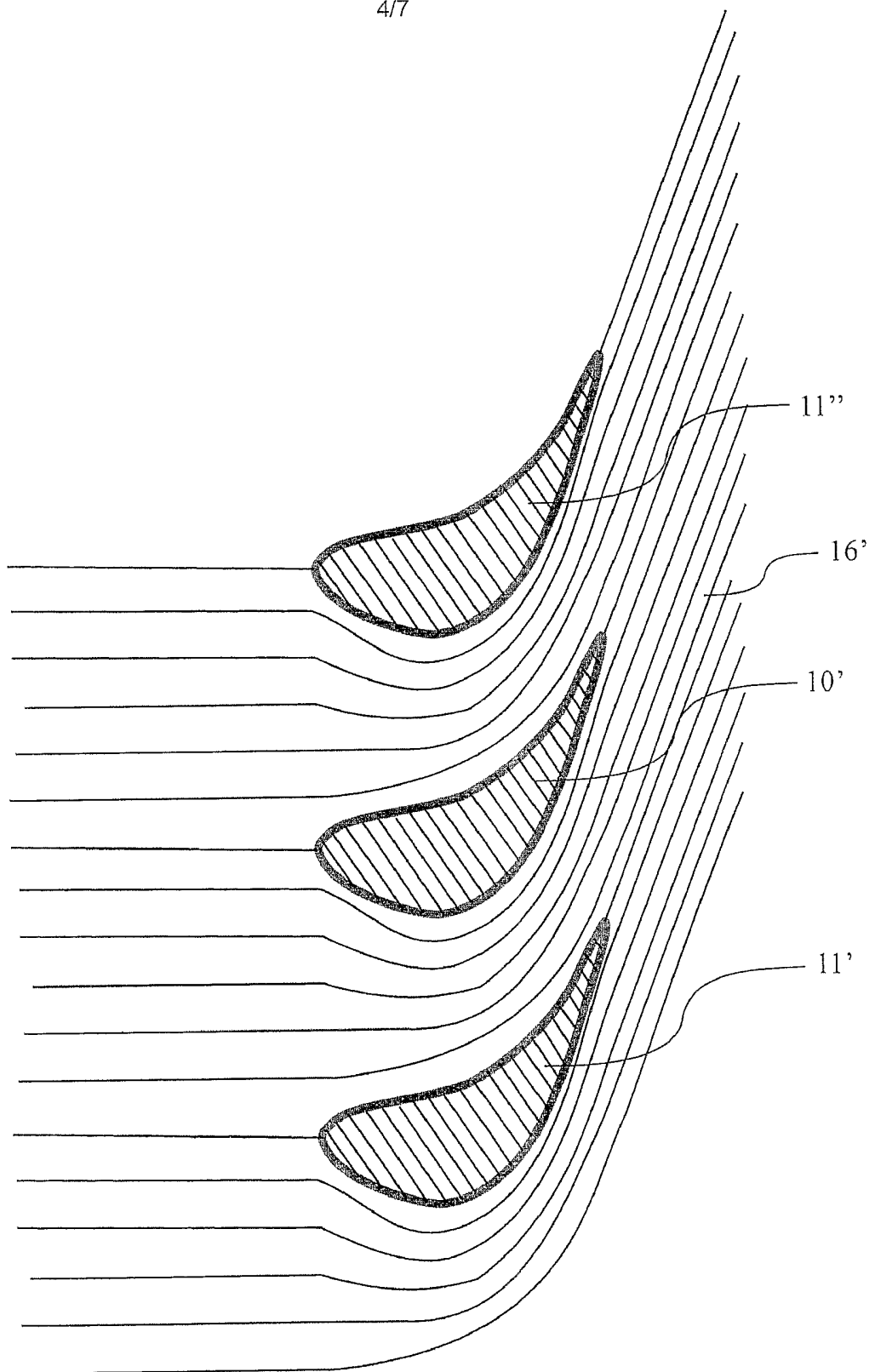


Fig. 4

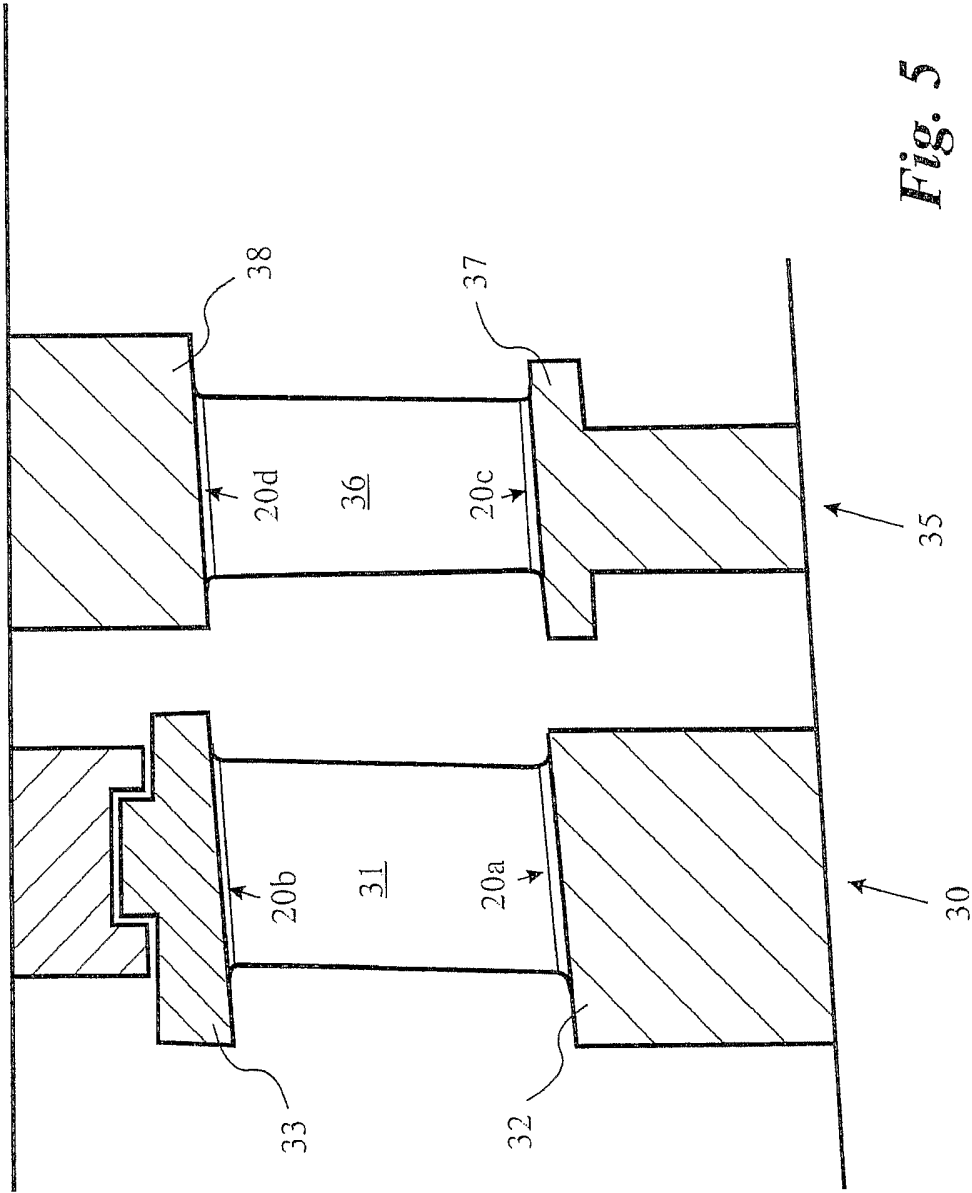


Fig. 5

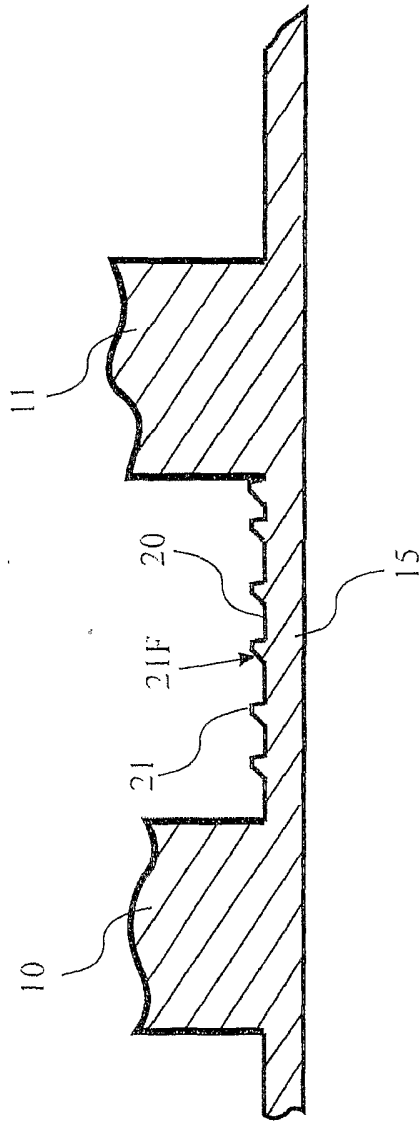


Fig. 6

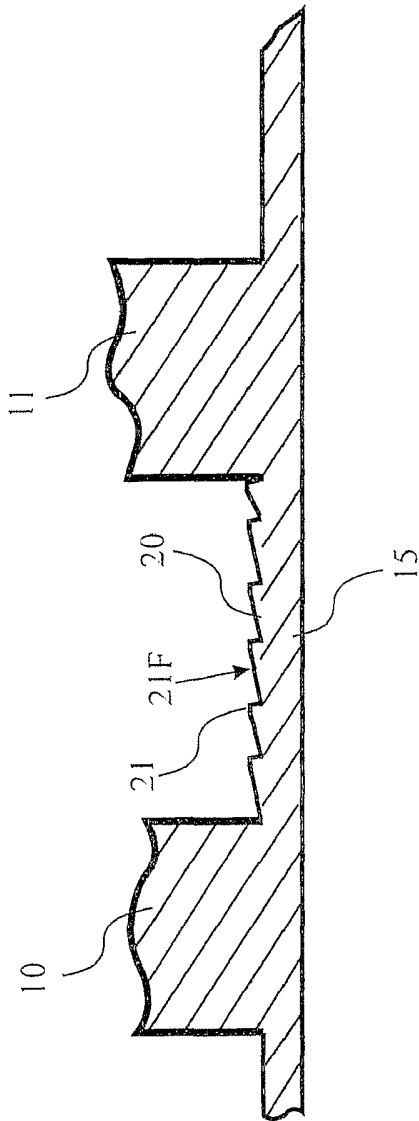


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/051174

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 F01D5/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 F01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	GB 2 042 675 A (ROLLS ROYCE) 24 September 1980 (1980-09-24) page 1, line 73 - line 75 page 3, line 7 page 3, line 63 - line 67 figures 2-4	1-5, 9, 10
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2002, no. 06, 4 June 2002 (2002-06-04) -& JP 2002 054401 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD), 20 February 2002 (2002-02-20) abstract; figures ----- -/--	1-4

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 September 2004

Date of mailing of the international search report

30/09/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Angelucci, S

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/051174

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 023 350 A (HOVAN EDWARD JOHN ET AL) 17 May 1977 (1977-05-17) column 4, line 6 - line 8 column 4, line 40 figures 2-4	1,4,9,10
X	WO 00/61918 A (SIEMENS WESTINGHOUSE POWER) 19 October 2000 (2000-10-19) page 5, line 16 - line 20 page 10, line 8 - line 11 figures 6,7	1,4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/EP2004/051174

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 2042675	A	24-09-1980	NONE	
JP 2002054401	A	20-02-2002	NONE	
US 4023350	A	17-05-1977	NONE	
WO 0061918	A	19-10-2000	WO 0061918 A2	19-10-2000

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 F01D5/14

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 F01D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	GB 2 042 675 A (ROLLS ROYCE) 24. September 1980 (1980-09-24) Seite 1, Zeile 73 - Zeile 75 Seite 3, Zeile 7 Seite 3, Zeile 63 - Zeile 67 Abbildungen 2-4	1-5,9,10
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 2002, Nr. 06, 4. Juni 2002 (2002-06-04) -& JP 2002 054401 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD), 20. Februar 2002 (2002-02-20) Zusammenfassung; Abbildungen	1-4

-/--

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

20. September 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

30/09/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Angelucci, S

C₃ (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ^a	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 023 350 A (HOVAN EDWARD JOHN ET AL) 17. Mai 1977 (1977-05-17) Spalte 4, Zeile 6 - Zeile 8 Spalte 4, Zeile 40 Abbildungen 2-4 -----	1,4,9,10
X	WO 00/61918 A (SIEMENS WESTINGHOUSE POWER) 19. Oktober 2000 (2000-10-19) Seite 5, Zeile 16 - Zeile 20 Seite 10, Zeile 8 - Zeile 11 Abbildungen 6,7 -----	1,4

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/051174

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB 2042675	A	24-09-1980	KEINE
JP 2002054401	A	20-02-2002	KEINE
US 4023350	A	17-05-1977	KEINE
WO 0061918	A	19-10-2000	WO 0061918 A2 19-10-2000