

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 371 813 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
17.12.2003 Patentblatt 2003/51

(51) Int Cl. 7: F01D 5/14

(21) Anmeldenummer: 02405491.8

(22) Anmeldetag: 13.06.2002

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE TR  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(71) Anmelder: ALSTOM (Switzerland) Ltd  
5401 Baden (CH)

(72) Erfinder:  
• Greim, Ralf, Dr.  
5413 Birmenstorf (CH)  
• Havakechian, Said, Dr.  
5400 Baden (CH)

### (54) Beschaukelung für Strömungsmaschine

(57) Die in einem Schaufelkanal (30) angeordneten Schaufeln (1) einer Strömungsmaschine weisen erfindungsgemäß eine Oberflächenstruktur mit mehreren Rillen (15) auf, die sich von der Schaufelvorderkante (6) fächerartig zur Schaufelspitze (5), zum Schaufelfuss (4) und zur Schaufelhinterkante (7) erstrecken. Auf der Oberfläche der radial äusseren Schaufelhälften (16) so-

wie auf der radial inneren Schaufelhälfte (17) sind die Rillen (15) jeweils von einer Schaufelkanalmittenachse (18) weg orientiert. Die Oberflächenstruktur dient dazu, einer wirbelförmigen Sekundärströmung mittels einem Strömungswiderstand und einer Reibungskraft entgegenzuwirken, wodurch Sekundärverluste verminder werden.

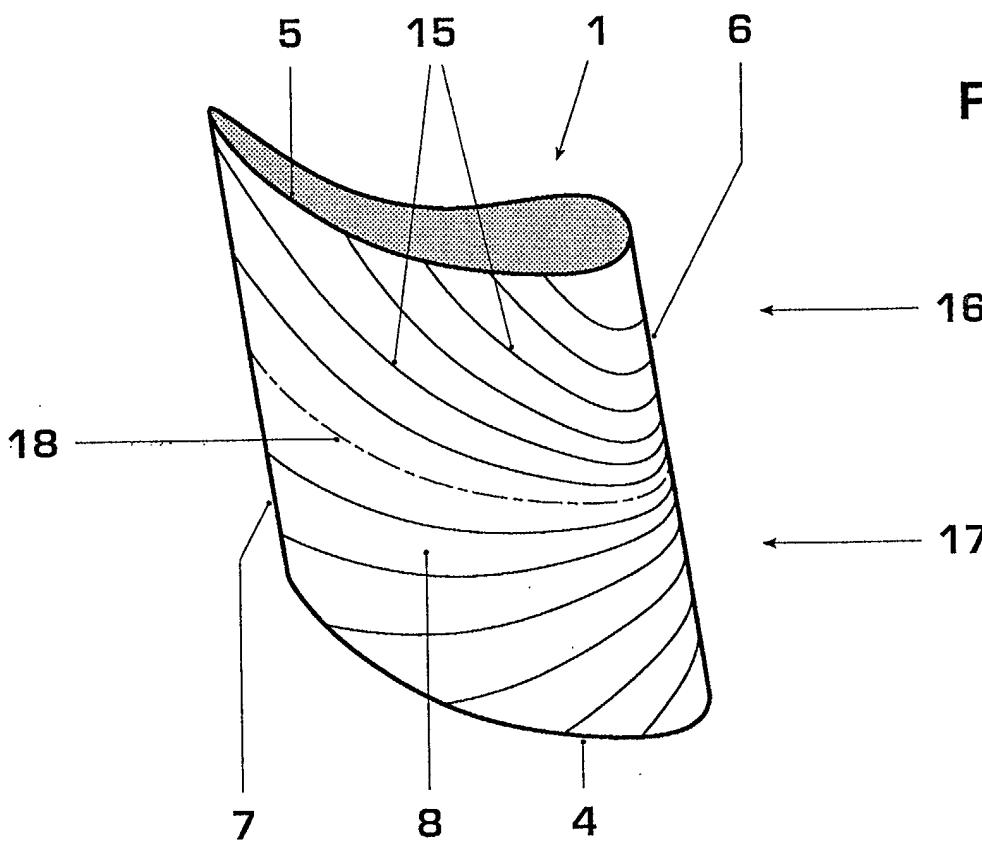


Fig. 5

EP 1 371 813 A1

## Beschreibung

### Technisches Gebiet

**[0001]** Die Erfindung betrifft die Schaufeln für eine Strömungsmaschine, wie zum Beispiel Turbinen und Verdichter, und insbesondere die Oberflächen der Schaufeln zwecks Optimierung der Strömungsverhältnisse.

### Stand der Technik

**[0002]** Die Schaufeln einer Strömungsmaschine sind in ihrer Form und Oberflächenbeschaffenheit derart gestaltet, dass Haupt- oder Primärströmung möglichst verlustarm und effizient durch den Schaufelkanal strömen kann. Die Hauptströmung durch eine Strömungsmaschine wird jedoch durch Leckage-, Sekundär sowie Profilverluste beeinträchtigt.

**[0003]** Leckageverluste werden durch jene Strömung verursacht, die trotz Labyrinthstrukturen zwischen Schaufel spitze und Strömungskanalwand hindurchdringt.

Profilverluste, die im wesentlichen Reibungsverluste sind, werden durch Reibungskräfte an Oberflächen verursacht. Sie hängen neben der Oberflächenrauhigkeit und -struktur auch von der Strömungsrichtung ab. Neben der Strömungsrichtung ist der Strömungszustand, nämlich laminar oder turbulent, entscheidend sowie auch die Strömungsgeschwindigkeit, (die in der bekannten Reynoldszahl erscheint) um die Grösse der durch Oberflächenrauhigkeit oder -strukturen verursachten Reibungsverluste zu beschreiben. So kann zum Beispiel eine Oberfläche aerodynamisch glatt wirken, selbst wenn sie Oberflächenstrukturen aufweist, zum Beispiel wenn sie parallel zur Strömungsrichtung verlaufen. In erster Linie sind jedoch Reibungsverluste um so geringer, je glatter die Oberfläche ist, weshalb in der heutigen Praxis der Schaufelherstellung die Schaufeloberflächen möglichst glatt gefertigt werden.

**[0004]** Bei der Herstellung von Schaufeln durch Fräserverfahren weisen die Schaufeln in einem Zwischenstadium eine Struktur von Rillen auf, die gemäss dem Fräserverfahren jeweils parallel zur Spitze und zum Fuss der Schaufeln verlaufen.

**[0005]** Diese Rillen werden durch weiteres Fräsen und/oder sogenanntes Tumbling minimiert, sodass eine möglichst glatte, von Fräsrillen und/oder Rauhigkeiten freie Oberfläche, und wenn möglich sogar eine spiegelglatte Oberfläche entsteht. Die Glattheit ist insbesondere bei kurzen Schaufeln mit kleinem Höhen-zu-Sehnen-Verhältnis und hoher Reynoldszahl zur Verringerung der Profilverluste wirksam. Bei längeren Schaufeln mit tieferer Reynoldszahl ist hingegen bezüglich der Profilverluste die Oberflächenbeschaffenheit weniger kritisch.

**[0006]** Sekundärverluste entstehen durch eine Wirbelströmung, die aufgrund des Druckunterschieds zwis-

schen benachbarten Schaufeln erzeugt werden. Das Kräftegleichgewicht zwischen dieser Druckkraft (zwischen der Druck- und Saugseite benachbarter Schaufeln) und der Zentripetalkraft (aufgrund der sich auf gekrümmten Bahnen bewegenden Fluides) kann in der Seitenwandgrenzschicht (an der Nabe bzw. Gehäuse) nicht mehr aufrecht erhalten werden. Deshalb bewegt sich das Fluid innerhalb dieser Seitengrenzschichten von der Druckseite einer Schaufel zur Saugseite einer

benachbarten Schaufel. Aus Kontinuitätsgründen wird dadurch Fluid auf der Schaufeldrückseite von der Kanalmitte radial nach aussen in Richtung der Seitenwände bzw. auf der Schaufelaugseite radial nach innen in Richtung Kanalmitte bewegt. Diese Fluidbewegung lässt zwei Wirbel entstehen, die sich überlagert mit der Hauptströmung helixförmig durch den Strömungskanal bewegen. Diese helixförmige Strömung ist auch unter Sekundärwirbel oder Sekundärströmung bekannt.

**[0007]** Je kleiner das Höhen-zusehnen-Verhältnis der Schaufeln ist, bzw. je grösser die Belastung (das heisst der Druckunterschied zwischen Schaufelaug- und druckseite) ist, desto grösser sind die durch die Sekundärströmung verursachten Verluste. Ihre Grösse kann dabei die der Reibungsverluste deutlich übersteigen.

### Darstellung der Erfindung

**[0008]** Es ist die Aufgabe der Erfindung, Schaufeln für eine Strömungsmaschine zu schaffen, deren Primärströmung im Vergleich zum Stand der Technik verminderte Verluste, insbesondere verminderte Sekundärverluste erfährt.

**[0009]** Diese Aufgabe ist durch Schaufeln für eine Strömungsmaschine mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

**[0010]** Die Schaufeln für eine Strömungsmaschine sind in einem Schaufelkanal angeordnet, der durch das Maschinengehäuse und den Rotor gebildet ist und eine Schaufelkanalmitte oder Schaufelkanalmittenachse aufweist, die auf der Höhe der halben radialen Länge der Schaufeln verläuft. Die Schaufeln erstrecken sich in radialer Längsrichtung von einem Schaufelfuss zu einer Schaufel spitze sowie in axialer Richtung von einer Schaufelvorderkante zu einer Schaufelhinterkante und weisen jeweils eine Druck- und Saugseite auf. Entlang ihrer radialen Längserstreckung besitzt jede Schaufel eine radial innere und eine radial äussere Schaufelhälfte.

**[0011]** Erfindungsgemäss weisen die Schaufeln zu mindest auf ihrer Saugseite eine Oberflächenstruktur mit mehreren Rillen auf, die sich von der einen Schaufelkante zur Schaufel spitze, zum Schaufelfuss oder zur anderen Schaufelkante erstrecken. Dabei sind auf der Oberfläche der radial äusseren Schaufelhälften mindestens ein Teil der Rillen von der Schaufelkanalmittenachse weg orientiert sowie auf der Oberfläche der radial inneren Schaufelhälften mindestens ein Teil der Rillen von der Schaufelkanalmittenachse weg orientiert.

**[0012]** Die Rillen der Oberflächenstruktur ergeben in einer gesamthaften Betrachtung einen Fächer, der bezüglich Schaufelkanalmittenachse symmetrisch ist, die vereinfacht angesehen, in der Meridianebene entlang der Winkelhalbierenden zwischen Nabe und Gehäuse verläuft. Der Fächer beginnt an der einen Schaufelkante im Mittenbereich der Schaufel, das heisst im Bereich der halben radialen Längserstreckung der Schaufel, und weitet sich radial einwärts sowie radial auswärts aus.

**[0013]** Die Rillenstruktur dient dazu, der wirbelförmigen Sekundärströmung, die an den gekrümmten Oberflächen des Schaufelkanals zur Mitte der Schaufelsaugseite hin strömt, mittels einem Strömungswiderstand und einer Reibungskraft entgegenzuwirken. Dadurch werden die Wirbelströmung und damit auch die von ihr verursachten Sekundärverluste vermindert. Hierzu sind die Rillen idealerweise senkrecht oder in möglichst grossem Winkel zur Richtung der Sekundärströmung orientiert.

**[0014]** Die Sekundärverluste bei einer Beschaufelung mit einer Oberfläche dieser Art sind im Vergleich zu den Sekundärverlusten bei einer Beschaufelung mit glatten Oberflächen reduziert. Die erfindungsgemässen Oberflächenstruktur erzeugt potentiell vermehrte Profilverluste, indem die Rillenstruktur in der Primärströmung zusätzliche Reibung verursacht. Eine gesamte Bilanz der verschiedenen Verluste ergibt jedoch eine Verminderung der Verluste für die Primärströmung.

**[0015]** Die Erfindung ist auf Beschaufelungen für Strömungsmaschinen aller Art anzuwenden, wie zum Beispiel Turbinen und Verdichter, wobei sie bei Hochdruckmaschinen mit Schaufeln mit geringem Höhen-zu-Sehnen-Verhältnis besonders von Vorteil ist. Sie ist auf sowohl auf Laufschaufeln als auch auf Leitschaufeln realisierbar.

**[0016]** Die Erfindung wird hier anhand einer axialen Turbomaschinenbeschaufelung offenbart. Sie ist jedoch auch analog bei radial oder diagonal durchströmten Beschaufelungen realisierbar.

**[0017]** Verschiedene Ausführungsformen und Varianten der Erfindung sind in den Unteransprüchen offenbart.

Gemäss einer ersten Ausführung der Erfindung weisen nur die Schaufelsaugseiten eine Oberflächenstruktur mit den erfindungsgemässen Rillen auf. Die Sekundärwirbel bewegt sich auf ihrer helixförmigen Bahn von der Schaufeldruckseite zur Schaufelsaugseite zweier benachbarter Schaufeln und überstreicht tendenziell einen grossen Bereich der Schaufelsaugseite. Deshalb ist eine erfindungsgemässen Oberflächenstruktur auf der Saugseite zur Verminderung der Sekundärverluste bereits schon wirksam.

**[0018]** In einer besonderen Ausführung sind die Rillen so angeordnet, dass sie gesamthaft einen Fächer bilden, der an der Vorderkante beginnt und sich zum Schaufelfuss, zur Schaufel spitze sowie zur Hinterkante hin ausweitet. Die Rillen erstrecken sich also auf der radial äusseren Hälfte der Saugseite einer Laufschaufel

zumindest zum Teil von der Vorderkante und von der Schaufelkanalmittenachse weg zur Schaufel spitze oder zur Hinterkante, und auf der radial inneren Hälfte der Saugseite zumindest zum Teil von der Vorderkante in

5 Richtung von der Schaufelkanalmittenachse weg zum Schaufelfuss oder zur Hinterkante.

Im Fall einer Leitschaufel erstrecken sich die Rillen des Fächers auf der radial äusseren Hälfte der Saugseite zumindest zum Teil von der Vorderkante und von der 10 Schaufelkanalmittenachse weg zu deren Schaufelfuss oder zur Hinterkante, und auf der radial inneren Hälfte der Saugseite zumindest zum Teil von der Vorderkante in Richtung von der Schaufelkanalmittenachse weg zu deren Schaufel spitze oder zur Hinterkante.

15 **[0019]** In einer zweiten und erweiterten Ausführung der Erfindung weisen die Schaufeln nicht nur auf ihrer Saugseite, sondern auch auf ihrer Druckseite eine Oberflächenstruktur mit den erfindungsgemässen Rillen auf. Durch diese Massnahme wird der Wirbelbildung 20 weiter entgegengewirkt, und Sekundärverluste werden weiter vermindert.

**[0020]** In einer ersten Variante dieser erweiterten Ausführung bildet die Oberflächenstruktur auf Saug- sowie Druckseite der Schaufeln gesamthaft einen Fächer 25 mit gleicher Orientierung. Das heisst, der Fächer beginnt auf beiden Seiten der Schaufeln im Mittenbereich der Vorderkante und weitet sich zur Hinterkante und der Schaufel spitze und zum Schaufelfuss aus. Genauer erstrecken sich auf

30 der Saugseite sowie auf der Druckseite der Schaufeln jeweils auf der radial äusseren Schaufelhälfte zumindest ein Teil der Rillen von der Vorderkante von der Schaufelkanalmittenachse weg in Richtung der Gehäuse oder Schaufelkanalwand oder zur Hinterkante. Auf der radial inneren Schaufelhälfte erstrecken sich die Rillen entsprechend von der Vorderkante und in einer Richtung weg von der Schaufelkanalmittenachse in Richtung der Nabe.

**[0021]** In einer zweiten Variante dieser Ausführung 40 bildet die Oberflächenstruktur auf der Saugseite einen Fächer von der gleichen Orientierung wie in der beschriebenen ersten Variante. Auf der Druckseite jedoch ist der Fächer im Vergleich zu dem auf der Saugseite umgekehrt orientiert. Das heisst der Fächer beginnt im Mittenbereich der Hinterkante und weitet sich zur Schaufel spitze, zum Schaufelfuss und zur Vorderkante hin aus. Diese Massnahme wirkt zusätzlich jener Strömung, die von der Druckseite ausgeht und die Wirbelströmung verursacht, entgegen.

**[0022]** In einer ersten besonderen Ausführung verlaufen die Rillen der Oberflächenstruktur jeweils geradlinig.

**[0023]** In einer weiteren besonderen Ausführung verlaufen auf der radial äusseren und inneren Schaufelhälfte jeweils zumindest ein Teil der Rillen parallel zueinander. Sie verlaufen dabei auf der radial äusseren sowie inneren Schaufelhälfte jeweils in einem Winkel von der Kanalmittenachse weg.

**[0024]** In einer weiteren Ausführung der Erfindung

verläuft jede Rille auf der Saug- und/oder Druckseite in einem ihr zugeordneten Winkel in Bezug auf die Schaufelkanalmittenachse. Dabei ist der Winkel jener Rillen, die der radialen Mitte der Schaufel am nächsten sind, am kleinsten. Die Winkel der weiteren Rillen sind mit zunehmenden Abstand von der radialen Mitte der Schaufel zunehmend grösser.

**[0025]** In einer weiteren besonderen Ausführung der Erfindung verlaufen zumindest ein Teil der Rillen entlang einem gekrümmten Pfad. Die Krümmung kann dabei in Bezug auf das Gehäuse oder der Nabe entweder konkav oder konvex sein.

Eine solche Krümmung bewirkt, zusätzlich zur Reibungskraft, die der Sekundärströmung entgegenwirkt, noch einen Druckgradienten zur Schaufel spitze beziehungsweise zum Schaufelfuss, welcher die Sekundärströmung zusätzlich vermindert.

**[0026]** In einer weiteren besonderen Ausführung weisen die Schaufeloberflächen im Bereich der radialen Mitte der Schaufeln eine oder mehrere zur Schaufelkanalmittenachse parallel verlaufende Rillen. Weitere Rillen ausserhalb des Bereichs mit parallel verlaufenden Rillen sind gemäss einer der oben beschriebenen Ausführungen angeordnet. Die zur Schaufelkanalmittenachse parallel verlaufenden Rillen dienen einer aerodynamisch glatten Oberfläche und unterstützen eine verlustarme Primärströmung in diesem Mittenbereich.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0027]** Figuren 1a und 1b zeigen eine perspektivische beziehungsweise eine zweidimensionale Darstellung der wirbelförmigen Sekundärströmung in der Beschaufelung einer Strömungsmaschine.

Figur 1 c zeigt einen Schaufelkanal mit einer Beschaufelung, auf welche die erfindungsgemässen Oberflächenstruktur anwendbar ist.

Figur 2 zeigt eine erste Ausführung der erfindungsgemässen Rillenstruktur zur Verminderung der Sekundärverluste. Die Rillen sind nur auf der Saugseite der Schaufeln angeordnet und verlaufen jeweils von der Schaufelvorderkante ausgehend parallel zueinander in einem Winkel von der Schaufelkanalmittenachse weg in Richtung Hinterkante.

Figur 3 zeigt eine erfindungsgemässen Rillenstruktur auf der Saugseite sowie auf der Druckseite der Schaufeln. Ihre Anordnung ist auf beiden Seiten gleich wie in Figur 2.

Figur 4 zeigt eine erfindungsgemässen fächerartige Rillenstruktur auf Saug- und Druckseite der Schaufeln, wobei die Rillen auf der Saugseite einen Fächer bilden, der sich von der Vorderkante zur Hinterkante ausweitet und auf der Druckseite einen Fächer, der sich von der Hinterkante zur Vorderkante hin ausweitet. Figuren 5 bis 8 zeigen verschiedene Varianten der erfindungsgemässen Rillenstruktur anwendbar auf Saug- und Druckseite der Schau-

feln.

#### Ausführungen der Erfindung

5 **[0028]** Figur 1a zeigt mehrere Schaufeln 1 einer Beschaufelung, die auf dem Rotor 2 mit Rotorachse 3 einer Strömungsmaschine angeordnet sind. Sie erstrecken sich radial von einem Schaufelfuss 4 zu einer Schaufel spitze 5 und axial von einer Vorderkante 6 zu einer Hinterkante 7. Die Saugseiten und Druckseiten der Schaufeln 1 sind mit 8 beziehungsweise 9 bezeichnet. Die Pfeile 10 deuten den Verlauf der wirbelförmigen Sekundärströmung im Bereich der Saugseiten 8 der Schaufeln 1 an. In axialer Richtung ergibt sich eine helixförmige 15 Sekundärströmung, welche die Hauptströmung 11 beeinträchtigt.

**[0029]** Figur 1 b erläutert weiterhin die Sekundärströmung in der Beschaufelung und insbesondere die Strömung 12 und 12', die von der Mitte einer Schaufeldruckseite 9 radial auswärts beziehungsweise radial einwärts zur Grenzschicht an der gekrümmten Oberflächen 13 des Schaufelkanals strömt und im Bereich der Saugseite 8 zur Mitte der Saugseite 8 hin gerichtete Wirbel bildet.

20 **[0030]** Figur 1c zeigt einen Schaufelkanal 30, der durch die Nabe 31 und das Gehäuse 32 der Strömungsmaschine gebildet wird. Lauf- und Leitschaufeln 1 sind am Rotor mit Rotorachse 3 bzw. am Gehäuse 32 befestigt. Der Schaufelkanal 30 besitzt eine definierte 25 Schaufelkanalmittenachse 18, die entlang der Winkelhalbierenden zwischen Nabe 31 und der Wand des Gehäuses 32 und jeweils auf der halben radialen Längserstreckung der einzelnen Leit- und Laufschaufeln 1 verläuft.

30 **[0031]** Figur 2 zeigt eine Ausführung einer Beschaufelung mit einer erfindungsgemässen Oberflächenstruktur. Diese Ausführung sowie sämtliche folgenden Ausführungen der Figuren 3 bis 8 sind jeweils am Beispiel von Laufschaufeln gezeigt, wobei sie entsprechend auf Leitschaufeln anzuwenden sind.

35 **[0032]** In Figur 2 ist die Oberflächenstruktur nur auf der Saugseite 8 der Schaufeln 1 angeordnet ist. Die Oberflächen der Druckseiten 9 sind nach konventioneller Art glatt gefertigt. Die Oberflächenstruktur weist Rillen 15 auf, die auf der radial äusseren Schaufelhälfte 16 von der Vorderkante 6 ausgehend sich in einer Richtung weg von der Schaufelmittennachse 18 erstrecken und bis zur Hinterkante 7 oder zur Schaufel spitze 5 führen. Auf der radial inneren Schaufelhälfte 17 erstrecken sich die 40 Rillen von der Vorderkante 6 in einer Richtung weg von der Schaufelkanalmittenachse 18 hin und führen zur Hinterkante 7 oder zum Schaufelfuss 4. Die Rillenstruktur bildet somit eine Art Fächer, der sich von der Vorderkante aus zur Hinterkante ausbreitet. In der gezeigten 45 Ausführung, sowie den Ausführungen in Figuren 3 und 4, verlaufen ferner die Rillen auf jeder Schaufelhälfte jeweils parallel zueinander.

50 **[0033]** Figur 3 zeigt eine erweiterte Ausführung der

Erfindung, bei der die Saugseiten sowie die Druckseiten der Schaufeln mit der erfindungsgemässen Oberflächenstruktur angefertigt worden sind. Die Saugseite 8 sowie die Druckseite 9 weist die gleiche Rillenstruktur auf wie zu Figur 2 beschrieben. Die Fächer besitzen also auf beiden Schaufelseiten die gleiche Orientierung.

**[0034]** Figur 4 zeigt eine Variante zur Ausführung der Figur 3. Während in Figur 4 die fächerartige Rillenstruktur auf der Saugseite 8 wiederum von der Vorderkante ausgehend sich zur Hinterkante hin ausweitet, besitzt sie auf der Druckseite 9 die entgegengesetzte Orientierung. Dort verlaufen die Rillen von der Hinterkante aus auf der radial äusseren Schaufelhälfte 16 in einer Richtung von der Schaufelkanalmittenachse 18 weg zur Vorderkante 6 oder zur Schaufel spitze 5 hin. Auf der radial inneren Schaufelhälfte 17 verlaufen die Rillen 15 von der Hinterkante 6 aus in einer Richtung weg von der Schaufelkanalmittenachse 3 zum Schaufelfuss 4 oder zur Vorderkante 7 hin.

**[0035]** In den Rillenstrukturen der Figuren 2 bis 4 verlaufen die Rillen geradlinig und parallel zueinander.

**[0036]** In den folgenden Figuren 5 bis 8 sind mehrere Varianten von Rillenstrukturen offenbart, die auf die Ausführungen der Figuren 2 bis 4 anwendbar sind. Bei der Anwendung auf die Druckseiten der Schaufeln ist dabei die Orientierung der Ausweitung der fächerartigen Rillenstruktur auch umgekehrt möglich, das heisst von der Hinterkante ausgehend und zur Vorderkante sich ausbreitend.

**[0037]** Figur 5 zeigt eine Variante der erfindungsgemässen Rillenstruktur mit geradlinigen Rillen. Die Rillen 15 verlaufen insbesondere je in einer ihr zugeordneten Richtung bezüglich der Schaufelkanalmittenachse 18. Die Rillen 15 gehen von einem Bereich an der Vorderkante 6 um die radiale Schaufelmitte 18 aus und führen einerseits zur Schaufel spitze 5 oder Hinterkante 7 hin oder anderseits zum Schaufelfuss 4 oder der Hinterkante 7 hin. Bezuglich der Schaufelmitte 18 verlaufen die Rillen in stets grösser werdenden Winkeln zu den Schaufelenden 4,5 oder der Hinterkante 7 hin.

**[0038]** In einer weiteren Variante sind die Rillen in einem mittleren Bereich der Schaufel fächerartig wie in Figur 5 offenbart angeordnet, während ausserhalb dieses Bereichs, zur Schaufel spitze und zum Schaufelfuss hin die Rillen parallel zueinander verlaufen, wie in Figur 4 gezeigt.

**[0039]** Figur 6 zeigt eine weitere Variante der erfindungsgemässen Rillenstruktur, deren Rillen in einem Mittelbereich 19 um die radiale Mitte 18 der Schaufel eine oder mehrere Rillen 20 auf, die parallel zur Schaufelkanalmittenachse 18 verlaufen. Ausserhalb dieses Mittelbereichs 19 sind weitere Rillen 15 von der Art der Figur 5 angeordnet, die fächerartig und geradlinig verlaufen.

**[0040]** Figur 7 zeigt eine weitere erfindungsgemäss Rillenstruktur, deren Rillen 21 fächerartig angeordnet sind, wobei die einzelnen Rillen entlang einem gekrümmten Pfad verlaufen. Die Krümmung ist in der ra-

dial äusseren Schaufelhälfte 16 bezüglich der Schaufel spitze 5 und in der radial inneren Schaufelhälfte 17 dem Schaufelfuss 4 jeweils konkav.

**[0041]** Figur 8 zeigt eine Rillenstruktur, die der in Figur 5 7 ähnlich ist, wobei die Rillen 22 jeweils einem gekrümmten Pfad folgen, dessen Krümmung bezüglich der Schaufel spitze 5 und dem Schaufelfuss 4 jeweils konvex ist.

**[0042]** In einer weiteren Variante sind die gekrümmten Rillen der Figur 7 und 8 in jeder Schaufelhälfte jeweils parallel zueinander angeordnet. Ferner sind in einer weiteren Variante im radialen Mittenbereich der Schaufel Rillen angeordnet, die parallel zur Schaufel spitze verlaufen, wie sie in Figur 6 gezeigt sind, und ausserhalb dieses Bereichs gekrümmte Rillen der Art von Figur 7 und 8 angeordnet.

**[0043]** Die Tiefe der einzelnen Rillen und die Abstände zwischen benachbarten Rillen sind jeweils entsprechend dem Höhen-zu-Sehnen-Verhältnis der Schaufeln 20 angepasst. Bei Schaufeln mit einer relativ grossen Reynoldszahl, wie zum Beispiel jene in einer Hochdruckturbine, sind die Tiefe der Rillen gross und die Abstände zwischen den Rillen klein zu wählen.

**[0044]** Hingegen bei Schaufeln mit relativ tiefer Reynoldszahl sind entsprechend die Tiefe relativ klein und die Abstände relativ gross zu wählen.

Ferner sind auf einer einzigen Schaufeloberfläche auch Rillen von verschiedener Tiefe und mit verschiedenen Abständen zueinander ausführbar.

**[0045]** Die erfindungsgemässen Oberflächenstruktur eignet sich für gefräste sowie geschmiedete Schaufeln. Die Rillenstruktur wird vorzugsweise durch Fräsen gefertigt.

### 35 Bezugsszeichenliste

#### **[0046]**

1	Schaufeln
40 2	Rotor
3	Rotorachse
4	Schaufelfuss
5	Schaufel spitze
6	Vorderkante
45 7	Hinterkante
8	Saugseite
9	Druckseite
10	Sekundärströmung
11	Hauptströmung
50 12	Sekundärströmung
13	Grenzschicht
14	--
15	Rillen
16	Radial äusser Schaufelhälfte
55 17	Radial innere Schaufelhälfte
18	Radiale Schaufelmitte, Schaufelkanalmittenachse
19	Radialer Mittenbereich

- 20 Parallel zur Schaufel spitze verlaufende Rillen  
 21,22 Gekrümmte Rillen  
 30 Schaufelkanal  
 31 Nabe  
 32 Gehäuse

### Patentansprüche

1. Schaufeln (1) für eine Strömungsmaschine, die in einem Schaufelkanal (30) angeordnet sind, wobei der Schaufelkanal (30) durch ein Gehäuse (32) und eine Nabe (31) gebildet ist und entlang der Winkelhalbierenden zwischen Gehäuse (32) und Nabe (31) und auf der halben radialen Längserstreckung der Schaufeln (1) eine Schaufelkanalmittenachse (18) verläuft, und die Schaufeln (1) sich jeweils in einer Längsrichtung von einem Schaufelfuss (4) zu einer Schaufel spitze (5) und in einer axialen Richtung von einer Schaufelvorderkante (6) zu einer Schaufelhinterkante (7) erstrecken und die jeweils eine Saugseite (8) und eine Druckseite (9) sowie entlang ihrer Längsrichtung eine radial äussere Schaufelhälften (16) und eine radial innere Schaufelhälften (17) aufweisen, die von der Schaufelkanalmittenachse (18) getrennt werden  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
 die Schaufeln (1) zumindest auf ihrer Saugseite (8) eine Oberflächenstruktur mit mehreren Rillen (15, 20, 21, 22) aufweisen, wobei die Rillen (15, 20, 21, 22) sich jeweils von der einen Schaufelkante (8, 9) zur anderen Schaufelkante (8, 9), zur Schaufel spitze (5) oder zum Schaufelfuss erstrecken, wobei auf der Oberfläche der radial äusseren Schaufelhälften (16) sowie auf der radial inneren Schaufelhälften (17) jeweils mindestens ein Teil der Rillen (15, 21, 22) von der Schaufelkanalmittenachse (18) weg orientiert sind.
2. Schaufeln gemäss Anspruch 1  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
 auf der Saugseite (8) der Schaufeln (1) zumindest ein Teil der Rillen (15, 21, 22) auf der radial äusseren Schaufelhälften (16) sich von der Schaufelvorderkante (6) in einer Richtung von der Schaufelkanalmittenachse (18) weg erstrecken, und zumindest ein Teil der Rillen (15, 21, 22) auf der radial inneren Schaufelhälften (17) sich von der Schaufelvorderkante (6) in einer Richtung von der Schaufelkanalmittenachse (18) weg erstrecken, und die Oberfläche der Druckseite (9) der Schaufeln (1) glatt ist.
3. Schaufeln gemäss Anspruch 1  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
 auf der Saugseite (8) sowie auf der Druckseite (9) der Schaufeln (1) zumindest ein Teil der Rillen (15, 21, 22) auf der radial äusseren Schaufelhälften (16)

- 5 sich von der Schaufelvorderkante (6) in einer Richtung von der Schaufelkanalmittenachse (18) weg erstrecken, und zumindest ein Teil der Rillen (15, 21, 22) auf der radial inneren Schaufelhälften (17) sich von der Schaufelvorderkante (6) in einer Richtung weg von der Schaufelkanalmittenachse (18) erstrecken.
- 10 4. Schaufeln gemäss Anspruch 1  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
 auf der Saugseite (8) der Schaufeln (1) zumindest ein Teil der Rillen (15, 21, 22) auf der radial äusseren Schaufelhälften (16) sowie auf der radial inneren Schaufelhälften (17) sich jeweils von der Schaufelvorderkante (6) in einer Richtung weg von der Schaufelkanalmittenachse (18) erstrecken, erstrecken, und auf der Druckseite (9) der Schaufeln (1) zumindest ein Teil der Rillen (15, 21, 22) auf der radial äusseren Schaufelhälften (16) sowie auf der radial inneren Schaufelhälften (17) sich jeweils von der Schaufelhinterkante (6) in einer Richtung weg von der Schaufelkanalmittenachse (18) erstrecken.
- 15 5. Schaufeln nach einem der Ansprüche 1 bis 4  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
 die Rillen (15) geradlinig verlaufen.
- 20 6. Schaufeln nach Anspruch 5  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
 auf der radial äusseren Schaufelhälften (16) und auf der radial inneren Schaufelhälften (17) jeweils zumindest ein Teil der Rillen (15) parallel zueinander verlaufen.
- 25 35 7. Schaufeln nach Anspruch 5  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
 jede der Rillen (15) in einem ihr zugeordneten Winkel in Bezug auf die Schaufelkanalmittenachse (18) verlaufen, wobei die Rillen (15), die der radialen Mitte (18) der Schaufel (1) am nächsten sind, im kleinsten Winkel in Bezug auf die Schaufelkanalmittenachse (18) verlaufen und die weiteren Rillen (15) mit zunehmenden Abstand von der radialen Mitte (18) der Schaufel (1) in zunehmendem Winkel in Bezug auf die Schaufelkanalmittenachse (18) verlaufen.
- 40 45 8. Schaufeln nach einem der Ansprüche 1 bis 4  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
 zumindest ein Teil der Rillen (21) jeweils entlang einem gekrümmten Pfad verlaufen, wobei jeder gekrümmte Pfad auf der radial äusseren Schaufelhälften (16) in Bezug auf das Gehäuse (32) sowie auf der radial inneren Schaufelhälften (17) in Bezug auf die Nabe (31) konvex verläuft.
- 50 55 9. Schaufeln nach einem der Ansprüche 1 bis 4  
**dadurch gekennzeichnet, dass**

zumindest ein Teil der Rillen (22) jeweils entlang einem gekrümmten Pfad verlaufen, wobei jeder gekrümmte Pfad auf der radial äusseren Schaufelhälfte (16) in Bezug auf das Gehäuse (32) sowie auf der radial inneren Schaufelhälfte (17) in Bezug auf die Nabe (31) konkav verläuft. 5

10. Schaufeln (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9

**dadurch gekennzeichnet, dass**

die Schaufeln (1) in einem Bereich (19) um ihre radiale Mitte (18) eine oder mehrere Rillen (20) parallel zur Schaufelkanalmittenachse (18) verlaufen. 10

15

20

25

30

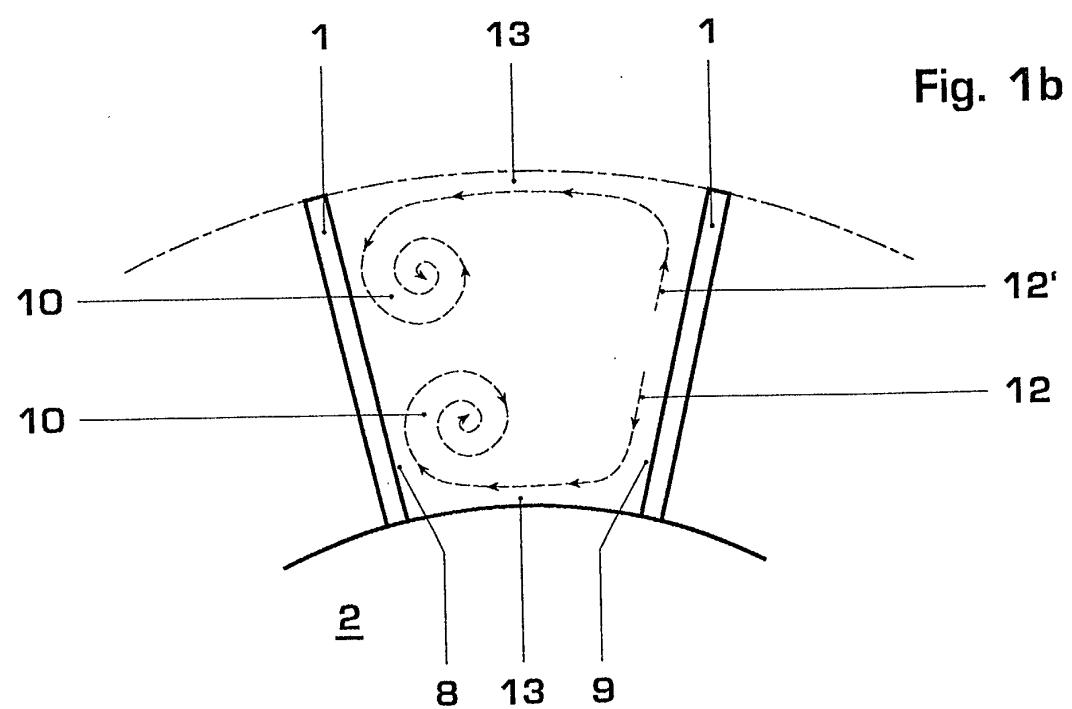
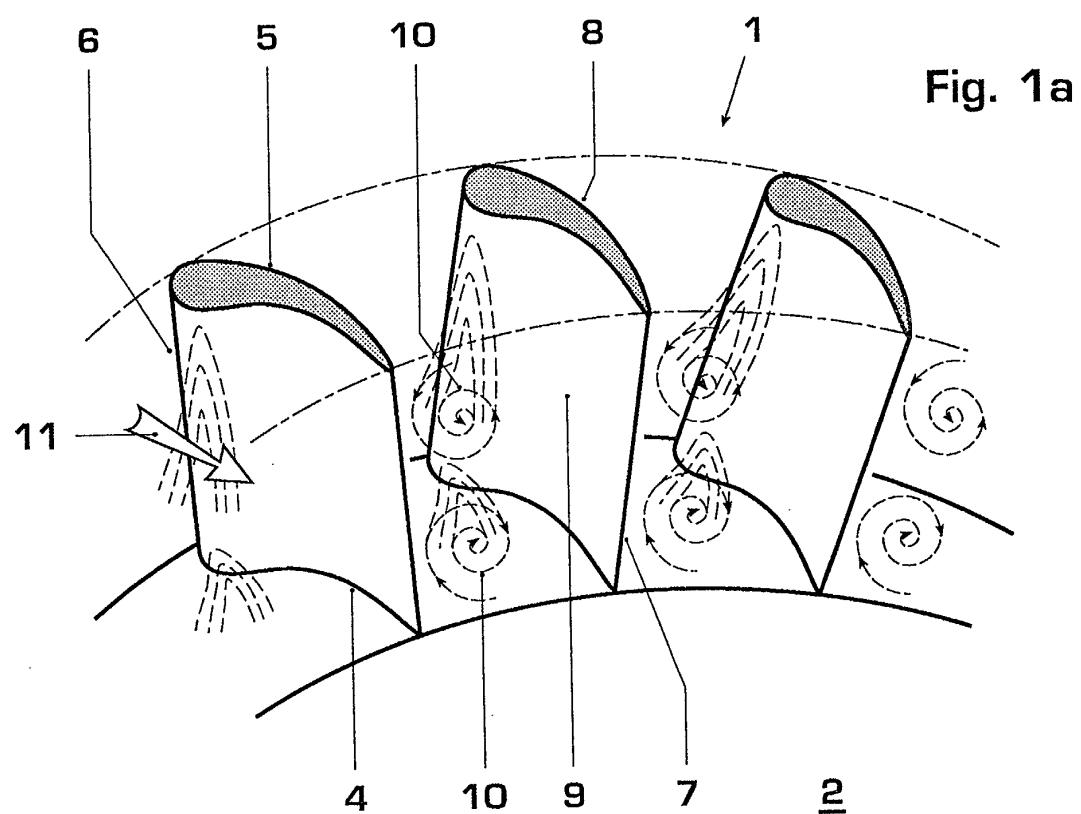
35

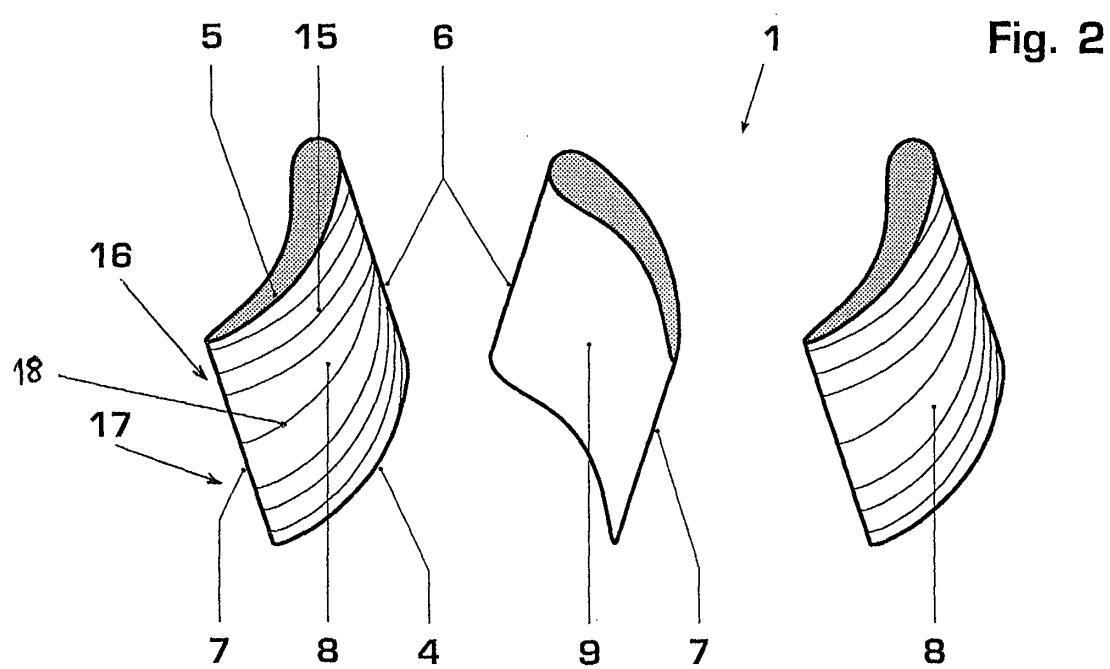
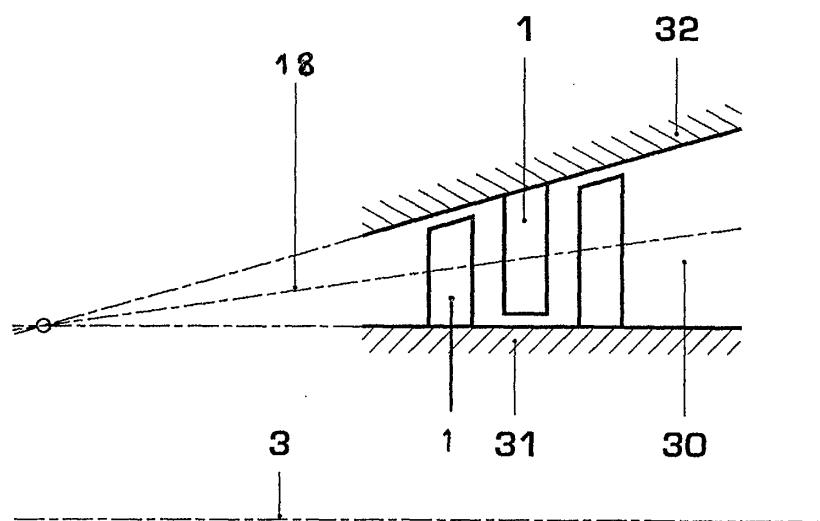
40

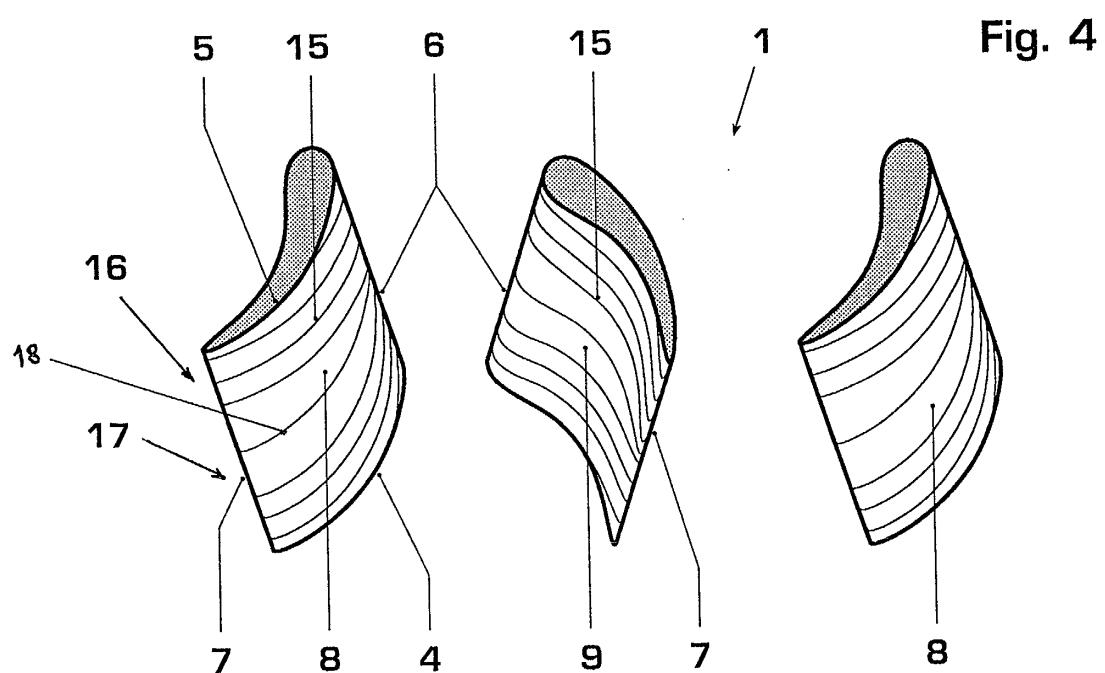
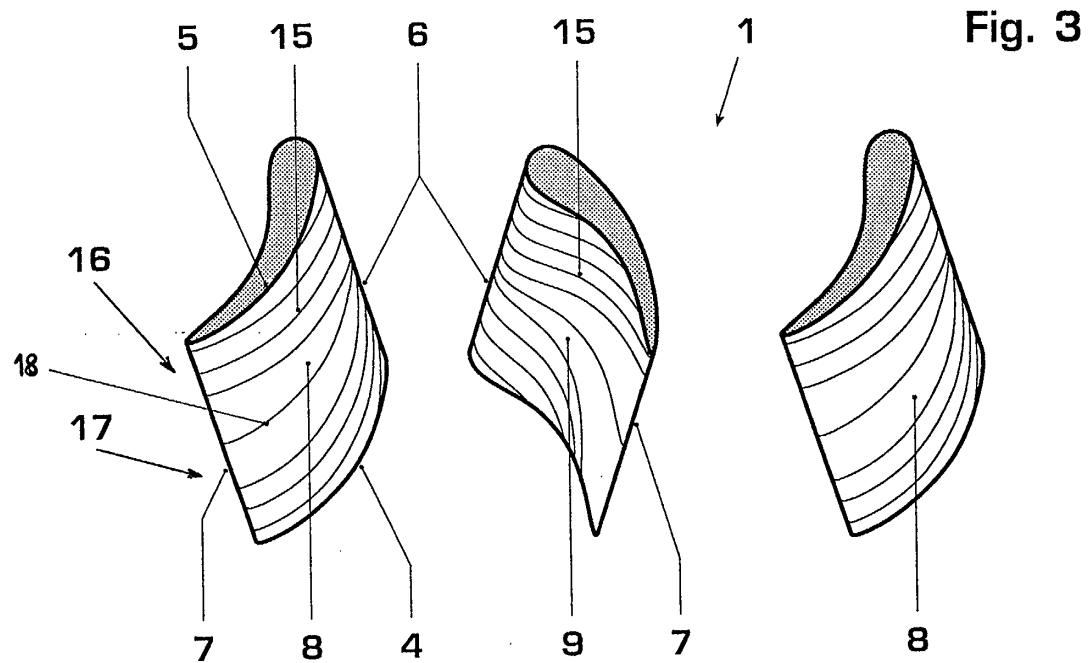
45

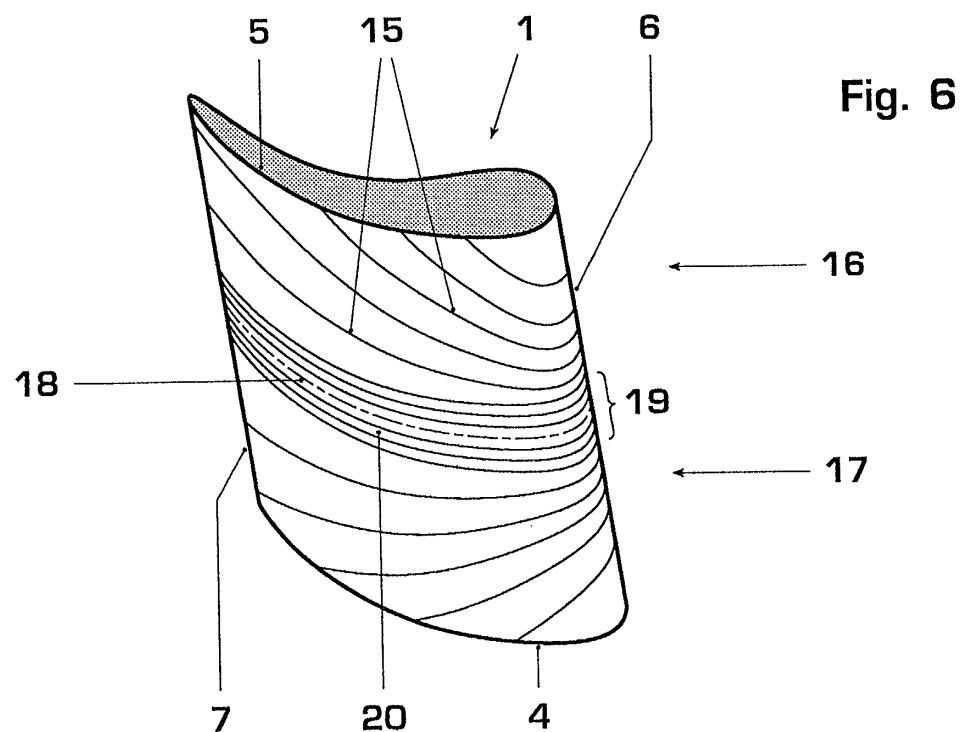
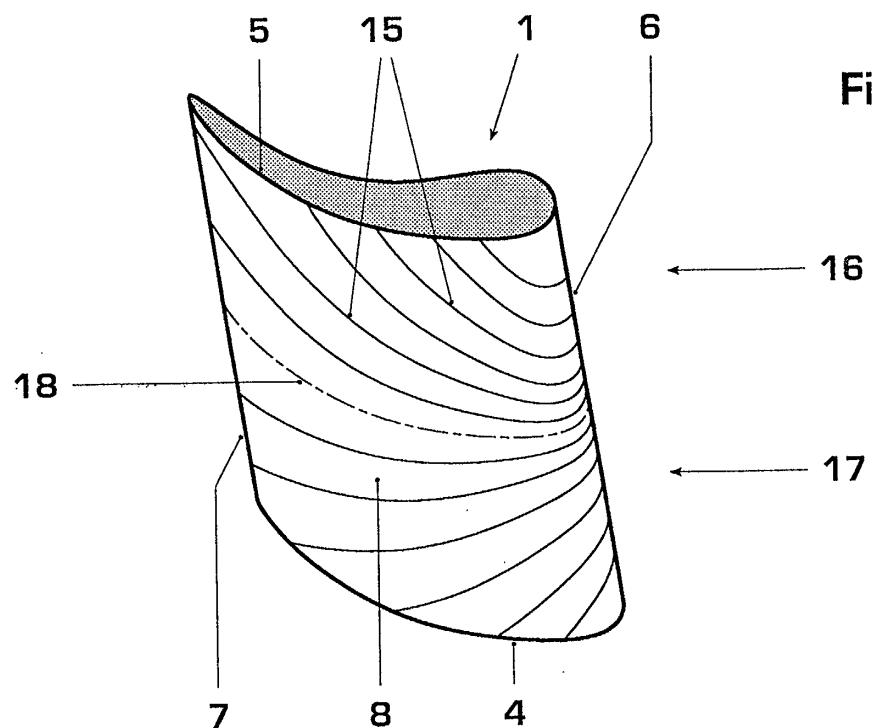
50

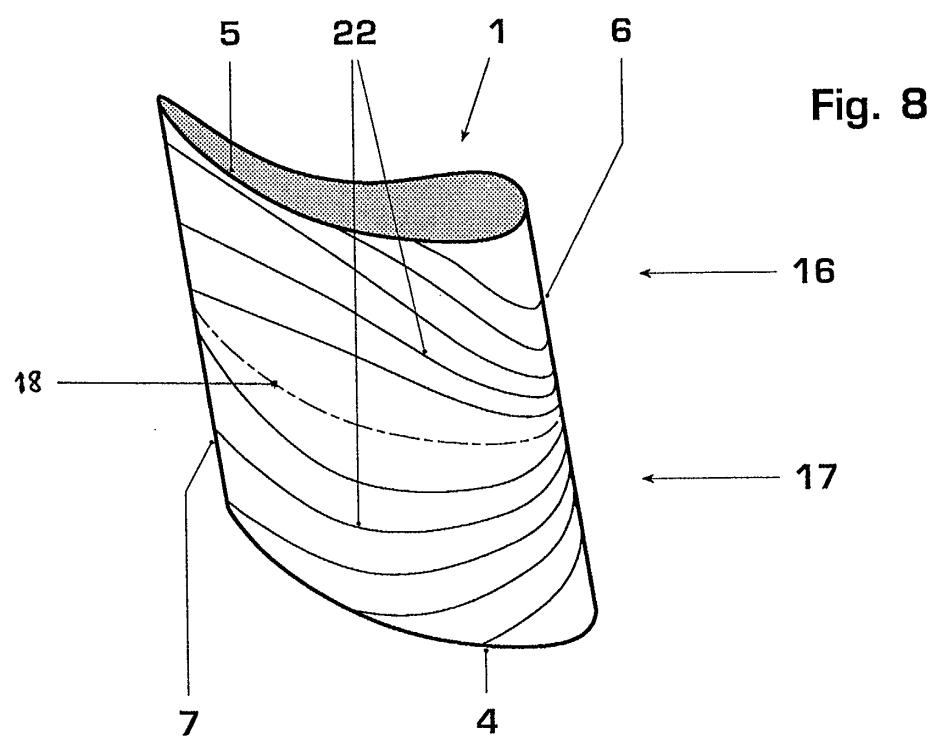
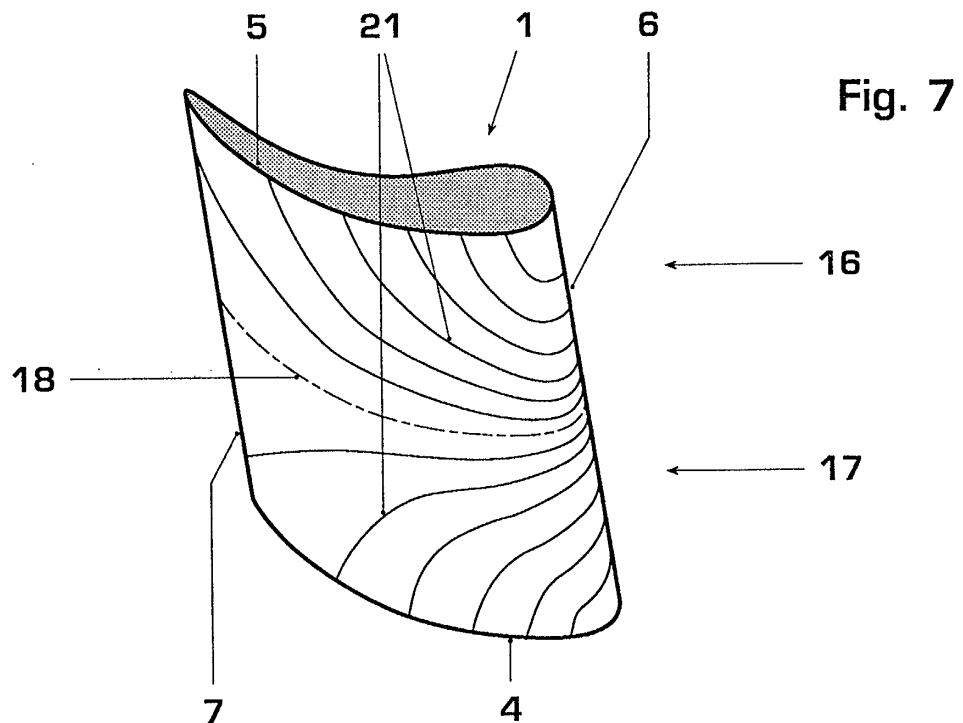
55













Europäisches  
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 02 40 5491

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betreff Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	WO 98 44240 A (MUELLER KARL HEINRICH ;BELL RALF (DE); SIEMENS AG (DE); SIMON VOLK) 8. Oktober 1998 (1998-10-08) * Seite 8, Absatz 3; Ansprüche 13-15 * * Seite 12, Absatz 2 - Seite 14; Abbildungen 3-6 *	1,3,5,7	F01D5/14
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 004, no. 114 (M-026), 15. August 1980 (1980-08-15) -& JP 55 072602 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD), 31. Mai 1980 (1980-05-31) * Zusammenfassung; Abbildungen 1-4 *	1-10	
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no. 159 (M-228), 13. Juli 1983 (1983-07-13) -& JP 58 067999 A (HITACHI SEISAKUSHO KK), 22. April 1983 (1983-04-22) * Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 *	1-10	
A	GB 1 545 622 A (TOYODA CHUO KENKYUSHO KK) 10. Mai 1979 (1979-05-10) * Abbildungen *	1-10	RECHERCHIERTE SACHGEBiete (Int.Cl.7) F01D
A	US 4 907 765 A (HIRSCHEL ERNST H ET AL) 13. März 1990 (1990-03-13) -----		
<p>Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt</p>			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
DEN HAAG	31. Oktober 2002	Raspo, F	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 02 40 5491

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

31-10-2002

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 9844240	A	08-10-1998	CN WO EP JP PL US	1251153 T 9844240 A1 0972128 A1 2001516420 T 335864 A1 6213711 B1		19-04-2000 08-10-1998 19-01-2000 25-09-2001 22-05-2000 10-04-2001
JP 55072602	A	31-05-1980		KEINE		
JP 58067999	A	22-04-1983		KEINE		
GB 1545622	A	10-05-1979	DE US	2619318 A1 4128363 A		14-04-1977 05-12-1978
US 4907765	A	13-03-1990	DE EP	3534293 A1 0216384 A2		02-04-1987 01-04-1987