(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 0 799 973 A1

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
08.10.1997 Patentblatt 1997/41

(51) Int. Cl.[6]: **F01D 9/04**

(21) Anmeldenummer: **96810199.8**

(22) Anmeldetag: **01.04.1996**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE

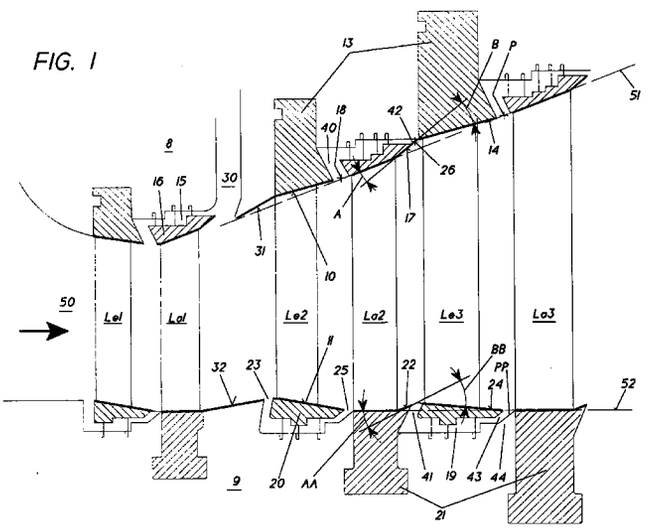
(71) Anmelder: **ASEA BROWN BOVERI AG**
5400 Baden (CH)

(72) Erfinder: **Kreitmeier, Franz**
5400 Baden (CH)

(54) Wandkontur für eine axiale Strömungsmaschine

(57) Bei einer mehrstufigen Beschaufelung einer axial durchströmten Turbomaschine ist die rotorseitige und/oder statorseitige strömungsbegrenzende Wand (10, 11) des durchströmten Kanals unmittelbar am Austritt der Laufschaufeln (La1, La2, La3) mit einem Knickwinkel (A, AA) versehen. Dieser ist so bemessen, dass die Abströmung aus den Laufschaufeln bezüglich Totaldruck und Abströmwinkel homogenisiert wird. Diese strömungsbegrenzende Wand (10, 11) ist zumindest annähernd im Eintrittsbereich der Leitschaufeln (Le2, Le3) der folgenden Stufe mit einem Gegenknickwinkel (B, BB) versehen. Mit dieser Massnahme kann der Labyrinthmassenstrom bei Beschaufelungen mit Deckbanddichtung verringert werden.

FIG. 1



EP 0 799 973 A1

Beschreibung

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine mehrstufige Beschaufelung einer axial durchströmten Turbomaschine. Insbesondere betrifft sie die Gestaltung der Kanalkontur im beschaufelten Bereich und ist anwendbar bei Beschaufelungen mit Spitzendichtung oder solchen mit Deckplatten- oder Deckbanddichtung.

Stand der Technik

Bei wirbelbehafteten Reaktionsbeschaufelungen von axial durchströmten Turbomaschinen mit zylindrischen Schaufeln wird durch die wechselnde Umfangskomponente der Strömungsgeschwindigkeit eine schlängelnde Bewegung des in eine Meridianebene Zylinderprojezierten Weges eines Masseteilchens des Arbeitsmediums durch die Beschaufelung hervorgerufen. Diese wellige Strömung ist von Walter Traupel in seinem Buch "Thermische Turbomaschinen", 1. Band, Springer Verlag 1966, Kapitel 7 beschrieben. Um die Spaltverluste zwischen Beschaufelung und Begrenzungswänden zu vermindern, ist es unter Beibehaltung dieser welligen Strömung bekannt, die statorseitige und die rotorseitige Begrenzung mit annähernd der gleichen Welligkeit zu versehen, wie sie die Strömung aufweist. Dabei kann die statorseitige Wellenform dadurch gebildet sein, dass die Kontur im Bereich des Leitschaufelfusses zur Maschinenlängsachse hingerichtet ist und im Bereich der Laufschaufelspitze von der Maschinenlängsachse weggerichtet ist. Dementsprechend ist die rotorseitige Wellenform dann dadurch gebildet, dass die Kontur im Bereich der Leitschaufelspitze zur Maschinenlängsachse hingerichtet ist und im Bereich des Laufschaufelfusses von der Maschinenlängsachse weggerichtet ist.

Darstellung der Erfindung

Die Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei einer Beschaufelung der eingangs genannten Art eine Kanalkontur zu schaffen, bei welcher durch geometrische Massnahmen der Stufenwirkungsgrad sowie die Stufenbelastung gesteigert werden kann.

Erfindungsgemäss wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass die rotorseitige und/oder statorseitige strömungsbegrenzende Wand des durchströmten Kanals unmittelbar am Austritt der Laufschaufeln mit einem Knickwinkel versehen ist, welcher so bemessen ist, dass die Abströmung aus den Laufschaufeln bezüglich Totaldruck und Abströmwinkel homogenisiert wird und dass diese Wand zumindest annähernd im Eintrittsbereich der Leitschaufeln der folgenden Stufe mit einem Gegenknickwinkel versehen ist.

Der Vorteil dieser Massnahme ist insbesondere darin zu sehen, dass in der ganzen Beschaufelung zumindest annnähernd Quasi-Repetierbedingungen erzielt werden unter Einbezug der ersten Stufe.

Bei Beschaufelungen, bei welcher die Schaufelenden der Laufschaufeln über eine mit Labyrinthen vesehene Deckplatte gegen dem Stator dichten, wird mit Vorteil die mit dem Knickwinkel versehene Wand am Austritt der Laufschaufel als Verlängerung der Deckplatte ausgebildet. Damit wird auch der durch das teilungsabhängige Druckfeld induzierte Queraustausch von Strömungsmaterial reduziert. Dieser kann nämlich die Ursache sein von Alösung an der besonders empfindlichen Saugseite der Schaufeln.

Zweckmässigerweise verläuft dann die mit dem Gegenknickwinkel versehene Wand im Fussbereich der stromabwärts gelegenen Leitschaufel anschliessend an den Gegenknickwinkel wieder radial einwärts, und wird am Leitschaufelaustritt verlängert, so dass die resultierende strömungsbegrenzende Wandung, welche zwischen verlängertem Leitschaufelfuss und darauffolgender Laufschaufeldeckplatte durch einen Axialspalt unterbrochen ist, zumindest annähernd in der Ebene des Laufschaufel-Eintritts dieser folgenden Stufe einen gemeinsamen Punkt mit der urprünglichen geraden Kanalkontur aufweist.

Bei Beschaufelungen, bei welcher die Schaufelenden der Leitschaufeln über eine mit Labyrinthen versehene Deckplatte gegen den Rotor dichten, wird mit Vorteil die mit dem Knickwinkel versehene Wand am Austritt der Laufschaufeln als Verlängerung der Fussplatte ausgebildet.

Zeckmässigerweise verläuft dann die in ihrem Eintrittsbereich mit dem Gegenknickwinkel versehene Wand an der Deckplatte der stromabwärts gelegenen Leitschaufel anschliessend an den Gegenknickwinkel wieder radial einwärts, und ist am Leitschaufelaustritt ebenfalls verlängert. Die resultierende strömungsbegrenzende Wandung, welche zwischen verlängerter Leitschaufeldeckplatte und darauffolgender Laufschaufelfussplatte durch einen Axialspalt unterbrochen ist, soll zumindest annähernd in der Ebene des Laufschaufel-Eintritts dieser folgenden Stufe einen gemeinsamen Punkt mit der urprünglichen geraden Kanalkontur aufweisen.

Die Verlängerung der Deckbänder bzw. der Schaufelfüsse stromabwärts führen zu einer Reduktion des Queraustausches von Strömungsmaterial in den dortigen Kavitäten. Es wird durch vom teilungsabhängigen Druckfeld getrieben und kann zu einer saugseitigen Ablösung führen. Die Gegenknickwinkel steigern den Minusdruck bzw. senken den Plusdruck über den Labyrinthen, was zu einer Senkung des schädlichen Spaltmassenstromes führt.

Um die Einströmung in die Labyrinthe zu erschweren, sind die Labyrinth-Eintritte zwischen den Leitschaufelfüssen und den Laufschaufeldeckplatten einer gleichen Stufe sowie zwischen den Laufschaufelfüssen einer Stufe und den Leitschaufelndeckplatten der folgenden Stufe entgegen der allgemeinen Strömungsrichtung im Kanal schräg gerichtet.

Der Wiedereinströmungseffekt des Labyrinthmas-

senstromes in den Hauptkanal kann dadurch verbessert werden, das die in den Axialspalt mündenden Labyrinth-Austritte zwischen den Laufschaufeldeckplatten einer Stufe und den Leitschaufelfüssen der darauf folgenden Stufe sowie zwischen den Leitschaufeldeckplatten und den Laufschaufelfüssen einer gleichen Stufe in der allgemeinen, im Schaufelkanal herrschenden Strömungsrichtung verlaufen. Die Labyrinthkammer nach dem letzten Dichtspalt ist zudem verkleinert, um zusätzliche Verluste zu vermeiden.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

In der Zeichnung sind mehrere Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand von Niederdruck-Dampfturbinen und Hochdruck-Dampfturbinen schematisch dargestellt. Es sind nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente gezeigt. Die Strömungsrichtung der Arbeitsmedien ist mit Pfeilen bezeichnet.

Es zeigen:

- Fig. 1 einen Teillängsschnitt einer Niederdruck-Dampfturbine mit Deckplattendichtung;
- Fig. 2 eine Ausführungsvariante der Rotorpartie in der Ebene einer im Stator angeordneten Entnahmestelle;
- Fig. 3 einen Teillängsschnitt einer Turbine mit Deckplattendichtung;
- Fig. 4 einen Teillängsschnitt einer Turbine mit Spitzendichtung;
- Fig. 5 einen Teillängsschnitt einer Niederdruck-Dampfturbine nach Fig. 1 mit einer Kanalkonturvariante.

Weg zur Ausführung der Erfindung

Gemäss Figur. 1 sind die ersten 3 , aus je einer Leitreihe Le und einer Laufreihe La bestehenden Stufen einer Niederdruckbeschaufelung dargestellt. Die mit ihren Füssen 21 in Eindrehungen des Rotors 9 eingesetzten Laufschaufeln La1, La2 und La3 sind an ihren Schaufelenden mit Deckplatten 16 versehen. Die radial äusseren Konturen der Deckplatten sind je nach Laufreihe geometrisch unterschiedlich gestuft. Unter Bildung von Labyrinthen 15 dichten sie mit ihren Stufen gegen Dichtstreifen, welche im Stator 9 auf geeignete Art angeordnet sind. Die mit ihren Füssen 13 in Eindrehungen des Stators 8 eingesetzten Leitschaufeln Le1, Le2 und Le3 sind an ihren Schaufelenden mit Deckplatten 20 versehen. Die radial inneren Konturen der Deckplatten sind je nach Leitreihe geometrisch unterschiedlich gestuft. Unter Bildung von Labyrinthen 19 dichten sie mit ihren Stufen gegen Dichtstreifen, welche im Rotor 9 auf geeignete Art angeordnet sind. Zwischen der ersten und der zweiten Stufe ist im Stator 8 eine radial auswärts gerichtete Entnahme 30 vorgesehen.

Der durchströmte Kanal 50 hat als Ausgangslage die konisch verlaufende äussere Kontur 51 am Stator und die zylindrisch verlaufende innere Kontur 52 am Rotor. Beides ist indes nicht zwingend. Unabhängig vom tatsächlichen Verlauf der Wandungen wird in jedem Fall die äussere strömungsbegrenzende Kontur 10 im Bereich des Laufschaufelblattes durch die dem Kanal zugekehrte Deckplatte 16 der Laufschaufeln La1, La2, La3 und im Bereich des Leitschaufelblattes durch die dem Kanal zugekehrte Fussplatte 13 der Leitschaufeln Le1, Le2, Le3 gebildet. Desgleichen wird die innere strömungsbegrenzende Kontur 11 des durchströmten Kanals im Bereich des Laufschaufelblattes durch die dem Kanal zugekehrte Fussplatte 21 der Laufschaufeln La1, La2, La3 und im Bereich des Leitschaufelblattes durch die dem Kanal zugekehrte Deckplatte 20 der Leitschaufeln Le1, Le2, Le3 gebildet. Unmittelbar stromaufwärts der Deckplatten 16, 20 befinden sich Axialspalte 18 (am Stator) und 23 (am Rotor), welche die Labyrinth-Eintritte 40 (am Stator) und 41 (am Rotor) darstellen. Unmittelbar stromabwärts dieser Deckplatten 16, 20 befinden sich Axialspalte 26 (am Stator) und 25 (am Rotor), welche die Labyrinth-Austritte 42 (am Stator) und 43 (am Rotor) darstellen. In der Regel werden die genannten Spalte anderseits begrenzt durch Stator- und Rotorteile, welche die Strömungsführung in den nichtbeschaufelten Ebenen übernehmen.

Gemäss der Erfindung ist der Kanal 50 nunmehr am Stator und/oder am Rotor mit abgeknickter Kontur ausgeführt, wobei die Kontur folgendermassen zustande kommt:

Zunächst ist sowohl die strömungsbegrenzende rotorseitige Wand 11 als auch die statorseitige Wand 10 des durchströmten Kanals unmittelbar am Austritt der Laufschaufeln La1, La2, La3 mit einem Knickwinkel A, AA versehen. Dieser Knickwinkel ist so bemessen, dass die Abströmung aus den Laufschaufeln bezüglich Totaldruck und Abströmwinkel homogenisiert wird. Im Beispielsfall bedeutet dies, dass sowohl statorseitig als auch rotorseitig die gezeigten Winkel A und AA als positiv definiert werden. Die abgeknickten Wandteile verlaufen radial nach aussen, d.h. sie sind von der nicht gezeigten Maschinenachse weggerichtet.

Der Wahl der Knickwinkel liegen folgende Überlegungen zugrunde: Am Austritt der Laufschaufeln liegt eine divergente Strömung vor, eventuell mit Gegendrall an der Nabe und Mitdrall am Zylinder. Zumindest weist die Strömung in der radial äusseren Zone eine wesentlich höhere Energie auf als in der radial inneren Zone, was sich in Form von wesentlich höheren Totaldrücken in der radial äusseren Zone manifestiert. Mit der Knickwinkel-Idee gilt es nun, eine möglichst geringe Totaldruck-und Abströmwinkel-Inhomogenität über der Schaufelhöhe zu erzielen. Die Gleichung für das radiale Gleichgewicht lehrt, dass dies in erster Linie über die Meridiankrümmung der Stromlinien errreicht werden kann. Diese muss also primär beeinflusst werden durch Anpassung des Knickwinkels. Mit dieser Überlegung ist der positive Knickwinkel AA der inneren Begrenzungswand im Prinzip festgelegt, wobei eine Totaldruckerhö-

hung in diesem Bereich erzielt wird. Die gleichen Überlegungen führen zum Knickwinkelverlauf A der äusseren Begrenzungswand. Eine homogene Totaldruckverteilung lässt sich hier nur dann erzielen, wenn der entsprechende Knickwinkel A gegenüber der konischen Kontur des Kanals in jedem Fall nach aussen öffnet, also ebenfalls einen positiven Wert annimmt. Hierbei wird die gewünschte Totaldruckerniedrigung in diesem Bereich erzielt.

Eine vollständige Umsetzung dieser Knickwinkel-Idee setzt eine saubere Führung der Strömung über einen Bereich von a/t = 0,5 voraus. Hierin bedeuten a der Abstand zwischen Laufschaufelaustritt und Leitschaufeleintritt der folgenden Stufe bedeutet und t die Schaufelteilung. Dies erfolgt aus der Erkenntnis, dass sich bei a/t = 0,5 langsam die von der Schaufelzirkulation herrührenden Strömungsinhomogenitäten verlieren. Eine saubere Führung der Strömung am Laufschaufelaustritt ist indes schwierig. Denn wie oben erwähnt, befindet sich unmittelbar stromabwärts der Deckplatte 16 in der Regel der Axialspalt 26 für den Labyrinth-Austritt 42 und stromabwärts der Fussplatte 21 befindet sich in der Regel der Axialspalt 23 für den Labyrinth-Eintritt 41. Abhilfe schafft hier die Massnahme, dass zum einen die mit dem Knickwinkel A versehene Wand 10 am Austritt der Laufschaufel als Verlängerung 17 der Deckplatte 16 ausgebildet ist. Zum andern wird die mit dem Knickwinkel AA versehene Wand am Austritt der Laufschaufel als Verlängerung 22 der Fussplatte 21 ausgebildet. Sie erstreckt sich bis in den Axialspalt 23 zwischen verlängerter Laufschaufel-Fussplatte und folgender Leitschaufel-Deckplatte 20. Auch wenn die Bedingung a/t = 0,5 nicht vollständig realisiert werden kann, so werden auch bei richtiger Winkelwahl mit kleineren Werten a/t bereits messbare Ergebnisse erzielt. Wichtig ist vor allem, dass die ununterbrochene metallische Führung der abgeknickten Wandteile 17 und 22 soweit wie möglich verläuft, d.h. dass die auf die Wandteile folgenden Axialspalte 26 (aussen) und 23 (innen) möglichst weit stromabwärts des Laufschaufelaustritts verlegt werden. Insbesondere im Bereich der Laufschaufeldeckplatte wird die überaus wichtige Abströmung somit von schädlichen Querströmeffekten geschützt.

Eine besondere Massnahme, um die Labyrinthströmung sowohl am Stator als auch Rotor zu vermindern, besteht nun erfindungsgemäss darin, dass die strömungsbegrenzenden Wandungen 10, 11 zumindest annähernd im Eintrittsbereich der Leitschaufeln Le2, Le3 der folgenden Stufe mit einem Gegenknickwinkel B, BB versehen sind. Zweckmässigerweise setzt dieser Gegenknick bereits in der Spaltmitte der jeweilgen Axialspalte 26 (aussen) und 23 (innen) an. Entsprechend ihrer Bezeichnung "Gegen"-Knickwinkel sind die Werte beider Winkel B und BB in diesem Fall negativ, d.h. die anschliessenden Wandteile sind gegenüber den positiv abgeknickten Wandteilen 17 und 22 einwärts gerichtet. Aussen am Stator wird dabei eine Druckerhöhung am Austritt 42 des Labyrinthes 15 erzielt. Innen am Rotor wird hingegen eine Druckerniedrigung am Eintritt 41 des Labyrinthes 19 erzielt. Beide Massnahmen bewirken ein reduziertes Druckgefälle über den entsprechenden Labyrinthen und somit geringere Labyrinth-Massenströme.

Es gilt nun, die zweifach geknickten Wandungen wieder in die ursprüngliche Kanalkontur zu überführen, wobei hier weitere Massnahmen gewählt werden, um die Labyrinthströmung sowohl am Stator als auch Rotor noch weiter zu vermindern.

Aussen wird nun die mit dem Gegenknickwinkel B versehene Wand im Fussbereich der stromabwärts gelegenen Leitschaufel Le2, Le3 anschliessend an den Gegenknickwinkel wieder radial einwärts geführt. Darüberhinaus wird sie am Leitschaufelaustritt mit einer Verlängerung 14 versehen. Der radial einwärtige Verlauf wird so gewählt, dass die resultierende strömungsbegrenzende Wandung, welche zwischen verlängertem Leitschaufelfuss und darauffolgender Laufschaufeldeckplatte 16 durch den Axialspalt 18 unterbrochen ist, zumindest annähernd in der Ebene des Laufschaufel-Eintritts dieser folgenden Stufe einen Schnittpunkt P mit der urprünglichen geraden Kanalkontur 51 aufweist. Aus der Zeichnung ist erkennbar, dass die Verlängerung 14 mit der ursprünglichen Kanalkontur 51, welche an der dem Kanal zugekehrten Seite der Deckplatte 16 der folgenden Laufschaufel vorherrscht, wiederum einen nach aussen öffnenden, positivem Winkel bildet. Zweckmässigerweise wird auch diese Knickstelle in die Mitte des Axialspaltes 18 verlegt. Die Folge davon ist eine Druckminderung am Eintritt 40 des Labyrinthes 15. Diese Druckminderung am Labyrinth-Eintritt bewirkt wie die Drucksteigerung am Labyrinth-Austritt ein Reduzierung des Druckgefälles über den Dichtstellen.

Entsprechend wird innen an der Nabe verfahren. Die in ihrem Eintrittsbereich mit dem Gegenknickwinkel BB versehene Wand an der Deckplatte 20 der Leitschaufel verläuft anschliessend an den Gegenknickwinkel wieder radial einwärts. Auch sie ist am Leitschaufelaustritt mit einer Verlängerung 24 versehen. Die resultierende strömungsbegrenzende Wandung, welche zwischen verlängerter Leitschaufeldeckplatte und darauffolgender Laufschaufelfussplatte 21 durch den Axialspalt 25 unterbrochen ist, wird so gerichtet, dass sie zumindest annähernd in der Ebene des Laufschaufel-Eintritts einen gemeinsamen Punkt PP mit der urprünglichen geraden Kanalkontur 52 aufweist. Aus der Zeichnung ist weiderum erkennbar, dass die Verlängerung 24 mit der ursprünglichen Kanalkontur 52, welche an der dem Kanal zugekehrten Seite der Fussplatte 21 der folgenden Laufschaufel vorherrscht, wiederum einen nach aussen öffnenden, positivem Winkel bildet. Auch diese Knickstelle wird mit Vorteil in die Mitte des Axialspaltes 25 verlegt. Die Folge davon ist eine Drucksteigerung am Austritt 43 des Labyrinthes 19. Diese Drucksteigerung am Labyrinth-Austritt bewirkt wie die Druckminderung am Labyrinth-Eintritt ein Reduzierung des Druckgefälles über den Dichtstellen.

Die bisher beschriebene Kanalgestaltung bietet nun die Möglichkeit zu einer weiteren Verminderung der Labyrinthströmung.

Dadurch, dass statorseitig die Fussplatte 13 der Leitschaufel mit der Verlängerung 14 versehen ist, können die Labyrinth-Eintritte 40 zwischen den Leitschaufelfüssen 13 und den Laufschaufeldeckplatten 16 der gleichen Stufe entgegen der allgemeinen Strömungsrichtung im Kanal schräg gerichtet werden. Hierzu müssen lediglich die Fussplatte der Leitschaufel austrittsseitig und das Deckband der Laufschaufel eintrittsseitig entsprechend konfiguriert werden. Diese Schrägstellung des Einlaufs erschwert die Einströmung zum Labyrinth 15.

Da analog hierzu rotorseitig die Fussplatte 21 der Laufschaufel mit der Verlängerung 22 versehen ist, können auch die Labyrinth-Eintritte 41 zwischen den Laufschaufelfüssen 21 und den Leitschaufeldeckplatten 20 der folgenden Stufe entgegen der allgemeinen Strömungsrichtung im Kanal schräg gerichtet werden. Hierzu müssen lediglich die Fussplatte der Laufschaufel austrittsseitig und das Deckband der Leitschaufel eintrittsseitig entsprechend konfiguriert werden. Diese Schrägstellung des Einlaufs erschwert die Einströmung zum Labyrinth 19.

Weiterhin sind Massnahmen getroffen, welche die Wiedereinströmung des Labyrinthmassenstromes erheblich verbessern.

So verläuft einerseits aussen der in den Axialspalt 26 mündende Labyrinth-Austritt 42 zwischen der Laufschaufeldeckplatte 16 einer Stufe und dem Leitschaufelfuss 13 der darauf folgenden Stufe in der allgemeinen, im Kanal 50 herrschenden Strömungsrichtung. Der Labyrinth-Austritt 42 ist radial so eng wie möglich gehalten, um unnötige Dissipation zu vermeiden. Infolge der Verlängerung 17 der Deckplatte kann die Abströmung aus dem Labyrinth möglichst nahe am folgenden Leitschaufeleintritt erfolgen.

Desgleichen verläuft auch innen der in den Axialspalt 25 mündende Labyrinth-Austritt 43 zwischen der Leitschaufeldeckplatte 20 und dem Laufschaufelfuss 21 einer gleichen Stufe schräg in der allgemeinen, im Kanal 50 herrschenden Strömungsrichtung. Um schädliche Wirbelkammern, in denen Energie dissipiert werden könnte, am Austritt der Labyrinthe 43 zu vermeiden, ist die Rotorpartie an den entsprechenden Stellen mit Erhebungen 44 versehen, welche einen strömungsmässig günstigen Austritt erlauben.

Spezielle Vorkehrungen sind in der Ebene der oben erwähnten Entnahmestelle 30 zu treffen. Die strömungsbegrenzende Wandung 31 des Stators unmittelbar stromaufwärts der Leitschaufeln Le2 wird als Teil der mit dem Gegenknickwinkel B versehenen Wand ausgebildet. Rotorseitig kann in der Ebene der Entnahmestelle 30 die strömungsbegrenzende Wandung 32 des Rotors 9 unmittelbar stromabwärts der Laufschaufeln La1 als mit dem Knickwinkel AA versehene Wand ausgebildet werden.

Eine Ausführungsvariante hierzu wird in Fig. 2 gezeigt. Rotorseitig wird hier in der Ebene der Entnahmestelle 30 die Laufschaufel La1 mit der oben beschriebenen Verlängerung 22 ausgerüstet, während die Deckplatte 20' der stromabwärts gelegenen Leitschaufel Le2 mit einer eintrittsseitigen Verlängerung 33 versehen, welche auch die Partie mit dem Gegenknickwinkel BB umfasst.

Fig. 3 zeigt die Anwendung der Erfindung bei einer Hochdruckbeschaufelung mit Deckplattendichtung, in welcher der durchströmte Kanal 50 nur eine sehr schwache Konizität aufweist. Dargestellt sind 2 Stufen mit je einer Leitreihe Le und einer Laufreihe La. Die funktionsgleichen Elemente sind mit denselben Bezugszeichen versehen wie in Fig. 1. Erkennbar sind die 3 Knickstellen X, Y, Z sowohl aussen am Zylinder als auch innen an der Nabe. In den Knickstellen X verlaufen die Wandungen 10 und 11 mit den Knickwinkeln A respektiv AA; in den Knickstellen Y mit den Gegenknickwinkeln B respektiv BB. Die Knickstellen Y und Z sind wieder mit Vorteil in die jeweilige Spaltmitte verlegt. Ferner ist erkennbar, dass auch die andern oben beschriebenen Massnahmen wie die Schräge der nicht näher bezeichneten Labyrinth-Eintritte und die strömungskonforme Ausbildung der Labyrinth-Austritte bei einer solchen Beschaufelung realisiert werden können.

Fig. 4 zeigt die Anwendung der Erfindung bei einer Beschaufelung, in welcher die Schaufelenden der Laufschaufeln La1, La2, La3 mit der Spitze gegen die strömungsbegrenzenden Wandungen 10 des durchströmten Kanals 50 dichten. Ausserhalb des beschaufelten Bereiches werden diese Wandungen 10 durch die kanalseitige Innenwand des Stators gebildet. Die mit dem postiven Knickwinkel A versehene Wand am Laufschaufel-Austritt der betrachteten Stufe verläuft in Ihrer Längserstreckung zunächst radial auswärts in öffendem Sinn. Die mit dem negativen Gegenknickwinkel B versehene Wand ist statorseitig von den, dem durchströmten Kanal zugekehrten Fussplatten 13 der Leitschaufeln Le2, Le3, Le4 der folgenden Stufe gebildet. Anschliessend an den mit Gegenknickwinkel versehene Wandteil verläuft die Wand radial einwärts so , dass sie zumindest annähernd in der Ebene des Laufschaufel-Eintritts dieser folgenden Stufe einen gemeinsamen Punkt P mit der urprünglichen geraden äusseren Kanalkontur 51 aufweist.

Auch die Schaufelenden der Leitschaufeln Le2, Le3, Le4 dichten mit der Spitze gegen die strömungsbegrenzenden Wandungen 11 des durchströmten Kanals 50. Rotorseitig wird die mit dem Knickwinkel AA und dem Gegenknickwinkel BB versehene Wand 11 von der Rotoroberfläche gebildet. Die mit dem postiven Knickwinkel AA versehene Wand am Laufschaufel-Austritt der betrachteten Stufe verläuft in Ihrer Längserstrekkung zunächst radial auswärts. Die mit dem negativen Gegenknickwinkel BB versehene Wand verläuft anschliessend an den Gegenknickwinkel so, dass sie zumindest annähernd in der Ebene des Laufschaufel-Eintritts dieser folgenden Stufe einen gemeinsamen Punkt PP mit der urprünglichen geraden Kanalkontur 52

aufweist.

Fig. 5 zeigt die 2 letzten Stufen der in Fig.1 gezeigten ND-Turbine mit einer Ausführungsvariante der Kanalkontur. Die Gegenknickwinkel werden hier durch Einführung von gekrümmten Konturen im Bereich der Leitschaufeln reduziert. Mit diesen gekrümmten Konturen lässt sich auch eine Reduktion des Plusdruckes in P sowie eine Steigerung des Minusdruckes in PP erzielen.

Die Erfindung ist selbstverständlich nicht auf die gezeigten und beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt. Die neue Idee kann z.B. nur am Stator oder - im Falle einer Deckplattenbeschaufelung - nur nach den Laufreihen verwirklicht werden, wenn beispielsweise Platzprobleme bestehen. Sie ist grundsätzlich bei allen Turbomaschinen anwendbar. Bei den bisherigen Beispielen wurde angenommen, dass der Totaldruck von der Nabe zum Zylinder zunimmt. Je nach Basisauslegung beziehungsweise Betriebspunkt, für den die Beschaufelung optimiert ist, kann der Totaldruckverlauf anders sein. Massgebend ist in jedem Fall, dass durch Anordnung von richtig dimensionierten und gerichteten Knickwinkeln in der Meridiankontur nach den Laufrädern der Totaldruckverlauf sowie der Abströmwinkelverlauf positiv beeinflusst werden kann, wobei positiv hier für Homogenisierung steht. Dabei sind ungestörte Wandflächen mit einer Mindestlänge von a/t = 0,5 anzustreben. Wird dies realisiert, so erreicht man neben der angestrebten Totaldruck-Homogenisierung desweiteren, dass das Strömungsfeld, welches am Laufschaufelaustritt zirkulationsbedingt stark inhomogen ist, gegen schädliche Quereinflüsse abgeschirmt ist.

Bezugszeichenliste

8	Stator
9	Rotor
10	statorseitige strömungsbegrenzende Wand
11	rotorseitige strömungsbegrenzende Wand
13	Fussplatte der Leitschaufeln Le
14	Verlängerung von 13
15	Laufschaufel-Labyrinth
16	Deckplatte der Laufschaufel La
17	Verlängerung von 16
18	Axialspalt zwischen 14 und 16
19	Leitschaufel-Labyrinth
20	Deckplatte der Leitschaufel Le
20'	Deckplatte der Leitschaufel Le2'
21	Fussplatte der Laufschaufel La
22	Verlängerung von 21
23	Axialspalt zwischen 22 und 20
24	Verlängerung von 20
25	Axialspalt zwischen 20 und 21
26	Axialspalt zwischen 17 und 13
30	Entnahme
31	strömungsbegrenzende Wandung statorseitig nach Entnahme
32	strömungsbegrenzende Wandung rotorseitig nach Entnahme
33	eintrittsseitige Verlängerung der Le-Deckplatte
40	Labyrinth-Eintritt aussen
41	Labyrinth-Eintritt innen
42	Labyrinth-Austritt aussen
43	Labyrinth-Austritt innen
44	Erhebungen am Rotor
50	durchströmter Kanal
51	äussere Kanalkontur
52	innere Kanalkontur
La1, La2	Laufschaufeln
Le1, Le2	Leitschaufeln
A	Knickwinkel aussen
AA	Knickwinkel innen
B	Gegenknickwinkel aussen
BB	Gegenknickwinkel innen
P	Intersektion mit gerader äusserer Kanalkontur
PP	Intersektion mit gerader innerer Kanalkontur

Patentansprüche

1. Mehrstufige Beschaufelung einer axial durchströmten Turbomaschine,
dadurch gekennzeichnet,

   dass die rotorseitige und/oder statorseitige strömungsbegrenzende Wand (10, 11) des durchströmten Kanals unmittelbar am Austritt der Laufschaufeln (La1, La2, La3) mit einem Knickwinkel (A, AA) versehen ist, welcher so bemessen ist, dass die Abströmung aus den Laufschaufeln bezüglich Totaldruck und Abströmwinkel homogenisiert wird und
   und dass diese Wand (10, 11) zumindest annähernd im Eintrittsbereich der Leitschaufeln (Le2, Le3) der folgenden Stufe mit einem Gegenknickwinkel (B, BB) versehen ist.

2. Mehrstufige Beschaufelung nach Anspruch 1, bei welcher die Schaufelenden der Laufschaufeln (La1, La2, La3) mit der Spitze gegen die strömungsbegrenzenden Wandungen des durchströmten Kanals (50) dichten,
dadurch gekennzeichnet,

   dass die mit dem Gegenknickwinkel (B) versehene Wand statorseitig von den, dem durchströmten Kanal zugekehrten Fussplatten (13) der Leitschaufeln (Le2, Le3, Le4) der folgenden Stufe gebildet ist und anschliessend an den Gegenknickwinkel so verläuft, dass sie zumindest annähernd in der Ebene des Laufschaufel-Eintritts dieser folgenden Stufe einen gemeinsamen Punkt (P) mit der urprünglichen geraden äusseren Kanalkontur (51) aufweist.

3. Mehrstufige Beschaufelung nach Anspruch 2, bei welcher die Schaufelenden der Leitschaufeln (Le2, Le3, Le4) mit der Spitze gegen die strömungsbegrenzenden Wandungen des durchströmten Kanals dichten, dadurch gekennzeichnet,

   - dass die mit dem Knickwinkel (AA) und dem Gegenknickwinkel (BB) versehene Wand (11) rotorseitig von der Rotoroberfläche gebildet ist,
   - dass die mit dem Knickwinkel (AA) versehene Wand am Laufschaufel-Austritt der betrachteten Stufe in Ihrer Längserstreckung zunächst radial auswärts verläuft,
   - und dass die mit dem Gegenknickwinkel (BB) versehene Wand anschliessend an den Gegenknickwinkel so verläuft, dass sie zumindest annähernd in der Ebene des Laufschaufel-Eintritts dieser folgenden Stufe einen gemeinsamen Punkt (PP) mit der urprünglichen geraden Kanalkontur (52) aufweist.

4. Mehrstufige Beschaufelung nach Anspruch 1, bei welcher die Schaufelenden der Laufschaufeln (La1, La2, La3) über eine mit Labyrinthen (15) versehene Deckplatte (16) gegen den Stator (8) dichten, wobei die strömungsbegrenzende Kontur des durchströmten Kanals im Bereich des Laufschaufelblattes durch die dem Kanal zugekehrte Deckplatte (16) der Laufschaufeln (La1, La2, La3) und im Bereich des Leitschaufelblattes durch die dem Kanal zugekehrte Fussplatte (13) der Leitschaufeln (Le1, Le2, Le3) gebildet ist,
   dadurch gekennzeichnet,

   dass die mit dem Knickwinkel (A) versehene Wand (10) am Austritt der Laufschaufel als Verlängerung (17) der Deckplatte (16) ausgebildet ist.

5. Mehrstufige Beschaufelung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet,

   dass die mit dem Gegenknickwinkel (B) versehene Wand im Fussbereich der stromabwärts gelegenen Leitschaufel (Le2, Le3) anschliessend an den Gegenknickwinkel wieder radial einwärts verläuft, und dass sie am Leitschaufelaustritt mit einer Verlängerung (14) versehen ist,
   so dass die resultierende strömungsbegrenzende Wandung, welche zwischen verlängertem Leitschaufelfuss und darauffolgender Laufschaufeldeckplatte (16) durch einen Axialspalt (18) unterbrochen ist, zumindest annähernd in der Ebene des Laufschaufel-Eintritts dieser folgenden Stufe einen gemeinsamen Punkt (P) mit der urprünglichen geraden Kanalkontur (51) aufweist.

6. Mehrstufige Beschaufelung nach Anspruch 4, bei welcher im Bereich zwischen den Laufschaufeln einer Stufe und den Leitschaufeln der darauffolgenden Stufe im Stator (8) zumindest annähernd radial gerichtete Entnahmestellen (30) angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet,

   dass die strömungsbegrenzende Wandung (31) des Stators unmittelbar stromaufwärts der Leitschaufeln als Teil der mit dem Gegenknickwinkel (B) versehenen Wand ausgebildet ist.

7. Mehrstufige Beschaufelung nach Anspruch 1, bei welcher die Schaufelenden der Leitschaufeln (Le2, Le3) über eine mit Labyrinthen (19) versehene Deckplatte (20) gegen den Rotor (9) dichten, wobei die strömungsbegrenzende Kontur des durchströmten Kanals im Bereich des Laufschaufelblattes durch die dem Kanal zugekehrte Fussplatte (21) der Laufschaufeln (La1, La2, La3) und im Bereich des Leitschaufelblattes durch die dem Kanal zugekehrte Deckplatte (20) der Leitschaufeln (Le2, Le3) gebildet ist,
   dadurch gekennzeichnet,

   dass die mit dem Knickwinkel (AA) versehene Wand am Austritt der Laufschaufel als Verlängerung (22) der Fussplatte (21) ausgebildet ist und sich bis in den Axialspalt (23) zwischen verlängerter Fussplatte der Laufschaufel und Deckplatte (20) der stromabwärts gelegenen Leitschaufel erstreckt.

8. Mehrstufige Beschaufelung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet,

   dass die in ihrem Eintrittsbereich mit dem Gegenknickwinkel (BB) versehene Wand in der Deckplatte (20) der stromabwärts gelegenen Leitschaufel anschliessend an den Gegenknickwinkel wieder radial einwärts verläuft, und dass sie am Leitschaufelaustritt mit einer Verlängerung (24) versehen ist,
   so dass die resultierende strömungsbegrenzende Wandung, welche zwischen verlängerter Leitschaufeldeckplatte und darauffolgender Laufschaufelfussplatte (21) durch einen Axialspalt (25) unterbrochen ist, zumindest annähernd in der Ebene des Laufschaufel-Eintritts dieser folgenden Stufe einen gemeinsamen Punkt (PP) mit der urprünglichen geraden Kanalkontur (52) aufweist.

9. Mehrstufige Beschaufelung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,

   dass rotorseitig in der Ebene der Entnahmestelle (30) die strömungsbegrenzende Wandung (32) des Rotors (9) unmittelbar

stromabwärts der Laufschaufeln als mit dem Knickwinkel (AA) versehene Wand ausgebildet ist.

10. Mehrstufige Beschaufelung nach den Ansprüchen 6 und 7, dadurch gekennzeichnet,

dass rotorseitig in der Ebene der Entnahmestelle (30) die Deckplatte (20') der stromabwärts gelegenen Leitschaufel mit einer eintrittsseitigen Verlängerung (33) versehen ist.

11. Mehrstufige Beschaufelung nach den Ansprüchen 5 und 7, dadurch gekennzeichnet,

dass die Labyrinth-Eintritte (40,41) zwischen den Leitschaufelfüssen (13) und den Laufschaufeldeckplatten (16) einer gleichen Stufe sowie zwischen den Laufschaufelfüssen (21) einer Stufe und den Leitschaufeldeckplatten (20) der folgenden Stufe entgegen der allgemeinen Strömungsrichtung im Kanal schräg verlaufen.

12. Mehrstufige Beschaufelung nach den Ansprüchen 5 und 8, dadurch gekennzeichnet,

dass die in den Axialspalt (26, 25) mündenden Labyrinth-Austritte (42, 43) zwischen den Laufschaufeldeckplatten (16) einer Stufe und den Leitschaufelfüssen (13) der darauf folgenden Stufe sowie zwischen den Leitschaufeldeckplatten (20) und den Laufschaufelfüssen (21) einer gleichen Stufe in der allgemeinen, im Kanal (50) herrschenden Strömungsrichtung verlaufen.

13. Mehrstufige Beschaufelung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Labyrinth-Austritte (42, 43) verengt sind.

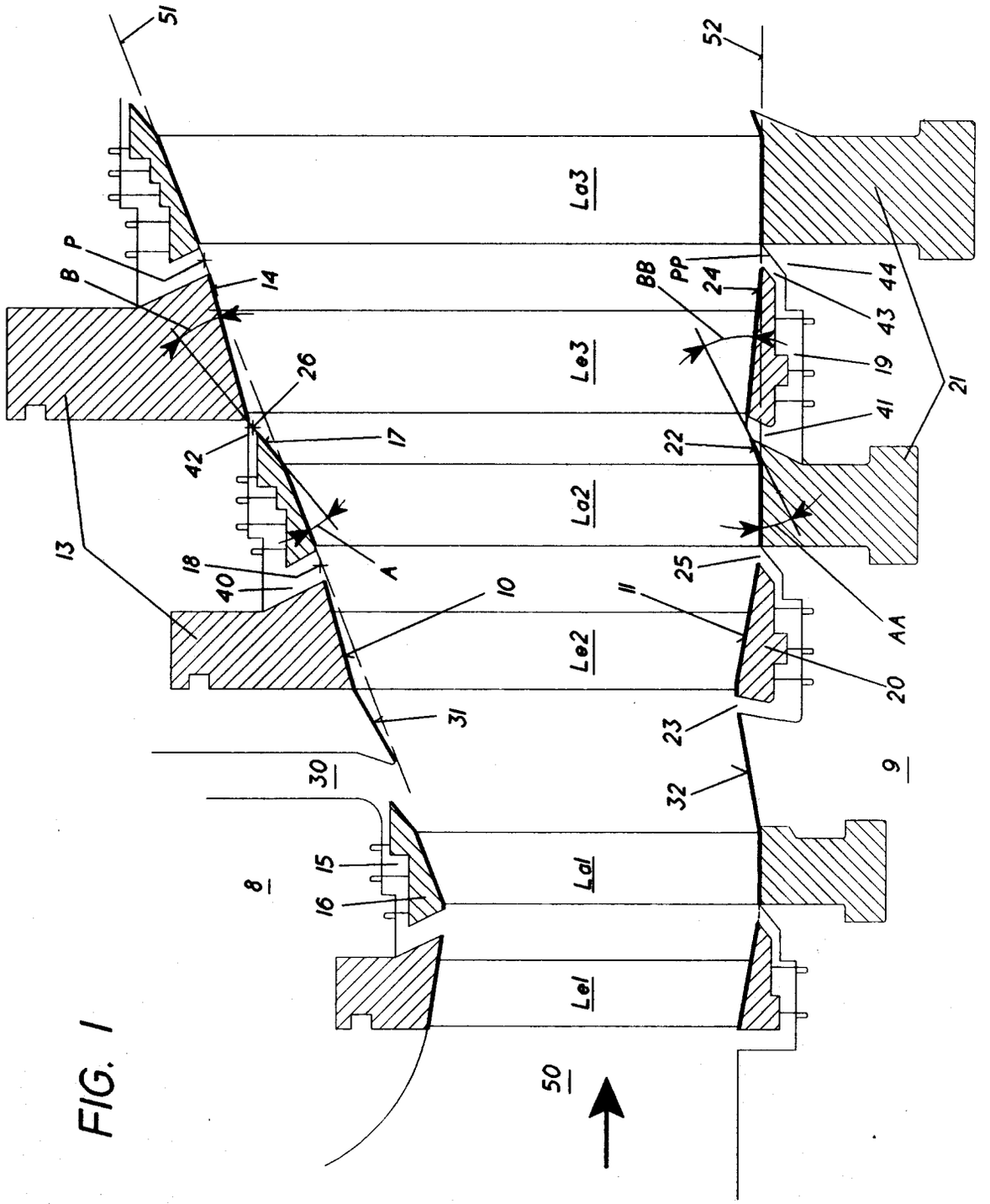

51
52
La3
Le3
La2
Le2
La1
Le1
B
P
14
26
42
17
A
13
18
40
10
31
30
8
15
16
BB
PP
24
44
43
19
41
21
22
25
11
AA
20
23
32
9
50

FIG. 1

FIG. 5

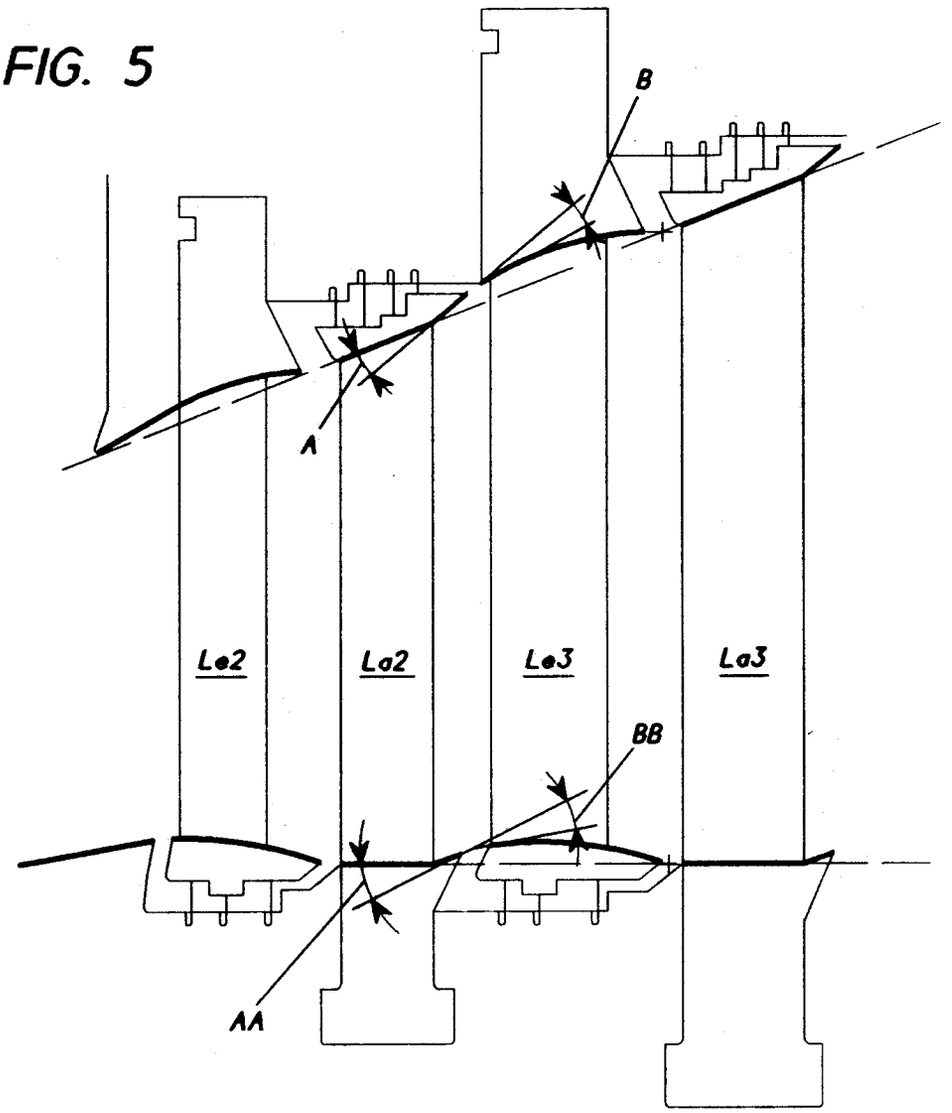


FIG. 2

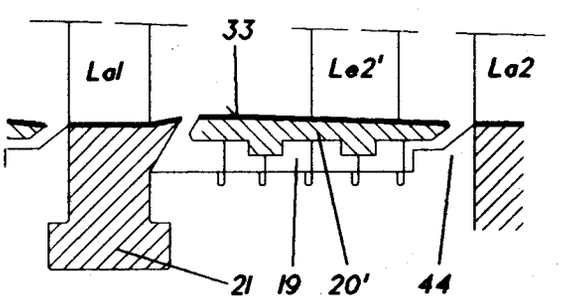


FIG. 3

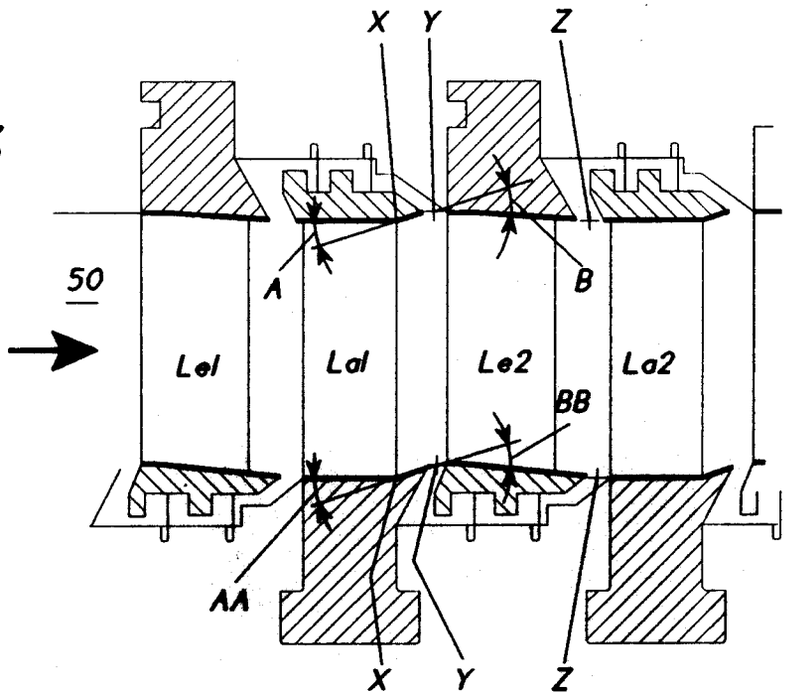
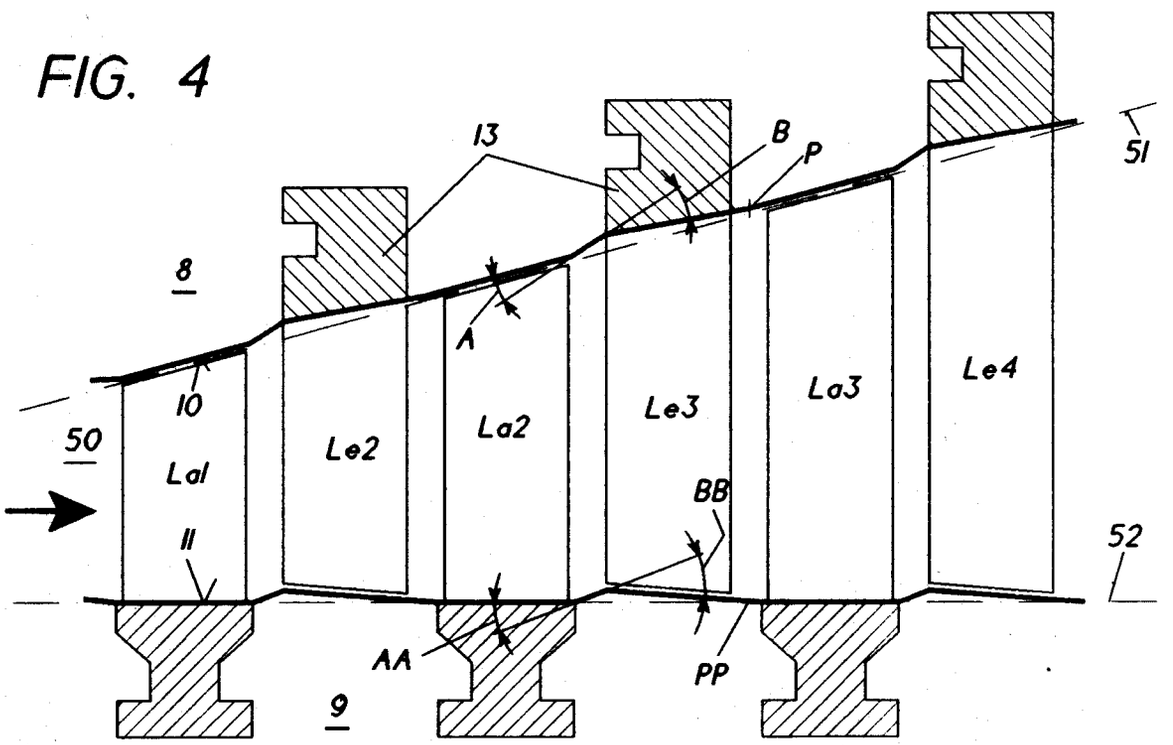

X
Y
Z
50
A
B
Lel
Lal
Le2
La2
BB
AA
X
Y
Z

FIG. 4


13
B
P
51
8
A
10
50
Lal
Le2
La2
Le3
La3
Le4
BB
11
52
AA
PP
9

Europäisches Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 96 81 0199

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
A	DE-C-579 989 (RÖDER) 4.Juli 1933 * das ganze Dokument *	1-3	F01D9/04
A	GB-A-2 075 130 (UNITED TECHNOLOGIES CORP) 11.November 1981 * das ganze Dokument *	1-3	
A	DE-C-338 916 (RÖDER) 5.Oktober 1921 * Anspruch 1 *	1-12	
A	US-A-2 846 137 (KRAFT) 5.August 1958 * das ganze Dokument *	1-12	
A	US-A-2 392 673 (SMITH) 8.Januar 1946 * das ganze Dokument *	1-3	
A	DE-C-216 525 (LASCHKE) 22.November 1909 * Anspruch 1 *	1-3	

RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)

F01D
F04D

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
DEN HAAG	28.August 1996	Iverus, D

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 andern Gründen angeführtes Dokument

& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)