



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 701 458 A2

(51) Int. Cl.: F01D 5/20 (2006.01)

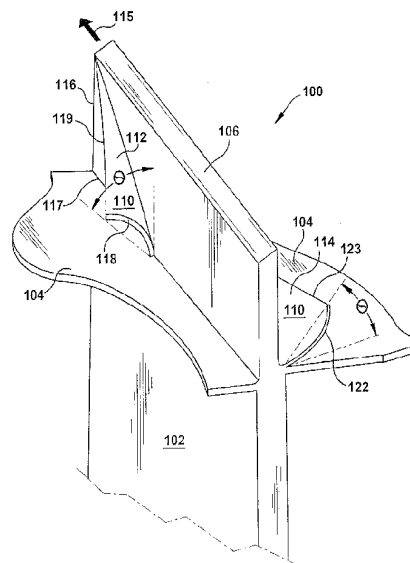
Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein  
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 01074/10	(71) Anmelder: General Electric Company, 1 River Road Schenectady, New York 12345 (US)
(22) Anmeldedatum: 01.07.2010	(72) Erfinder: Bruce L. Smith, Oviedo, Florida 32766 (US)
(43) Anmeldung veröffentlicht: 14.01.2011	(74) Vertreter: R. A. Egli & Co. Patentanwälte, Horneggstrasse 4 8008 Zürich (CH)
(30) Priorität: 02.07.2009 US 12/497,056	

(54) Turbinenmaschine mit einem Wirbelvorsprung auf umlaufender Komponente.

(57) Eine Turbinenmaschine weist einen Wirbelvorsprung (110) auf, der auf einer im Betrieb der Turbinenmaschine umlaufenden Komponente angeordnet ist, wobei der Wirbelvorsprung (110) eine Aussenfläche aufweist, die so gestaltet ist, dass sie ein Wirbelströmungsmuster erzeugt, wenn die Komponente während des Betriebs umläuft.



## Beschreibung

### Hintergrund der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich allgemein auf Verfahren, Systeme und/oder Vorrichtungen zur Verbesserung des Wirkungsgrads und/oder des Betriebs von Turbinenmaschinen, womit, so wie hier verwendet und wenn nicht speziell anders benannt, alle Typen von Turbinen - oder Drehbewegungen ausführende Maschinen gemeint, sind einschliesslich Gasturbinenmaschinen, Flugtriebwerke, Dampfturbinenmaschinen und andere. Im Einzelnen betrifft die Erfindung, ohne darauf beschränkt zu sein, Systeme und Vorrichtungen, die sich auf verbesserte Dichtungen bei Turbinenmaschinen beziehen.

[0002] Die Leistung einer Turbinenmaschine ist in grossem Masse durch ihre Fähigkeit beeinflusst, Leckageströmungen und/oder die Verwendung von Kühlluft zu eliminieren oder zu reduzieren. Leckage rührt in der Regel von einer Druckdifferenz her, die an einem Leckagespalt anliegt. Wenngleich es möglich ist, die Druckdifferenz über den Leckagespalt zu verringern, so kann dies doch zu einer unerwünschten Einschränkung hinsichtlich der aerodynamischen Auslegung von Geschwindigkeitsbeeinflussenden Komponenten für das Arbeitsfluid führen. Die Verringerung des Spalts selbst ist zwar wünschenswert, doch ist dessen Eliminierung normalerweise nicht praktikabel wegen unvermeidlicher unterschiedlicher thermischer Eigenschaften der umlaufenden und der stationären Komponenten und wegen der Fliehkraftcharakteristik der umlaufenden Komponenten. Unter zusätzlicher Beachtung der Herstellungstoleranzen von Komponenten und Änderungen der Betriebsbedingungen, die die charakteristischen thermischen und zentrifugalen Eigenschaften beeinflussen, ist es üblicherweise so, dass sich während bestimmter wesentlicher Betriebsbedingungen ein Leckagespalt ausbildet.

[0003] Im Fall von Gasturbinenmaschinen wird oft Kühlluft unmittelbar von dem Verdichter zu den Turbinenkomponenten hin abgezweigt, um diese gegen die extremen Temperaturen des Heissgaspfades zu schützen. Die Kühlluft kann dazu verwendet werden, Teile unmittelbar zu kühlen oder in einigen Fällen kann sie auch dazu heran gezogen werden, Hohlräume zu spülen, die für einen Arbeitsfluideintritt durch Spalten, die längs des Heissgaspfades vorhanden sind, offen sind. Zum Spülen von Hohlräumen wird normalerweise eine auswärtsgerichtete Strömung von Kühlluft erzeugt (d.h. eine Kühlluftströmung von dem Hohlraum in den Heissgaspfad), und diese nach aussen gerichtete Strömung verhindert im Wesentlichen die Einströmung von Arbeitsfluid durch die Spalten. Jedoch beeinträchtigen, ähnlich wie Leckageströmungen, auch Spülströme die Leistung und den Wirkungsgrad der Turbinenmaschine. Deshalb muss der Einsatz von Spülluft möglichst minimiert werden.

[0004] Demzufolge besteht ein Bedürfnis nach verbesserten Systemen und Vorrichtungen, die Spalten oder Hohlräume in der Turbinenmaschine wirksamer abdichten. Insbesondere besteht ein Bedürfnis für verbesserte Dichtungen, welche die Leckageströmungen und/oder die Verwendung von Kühlluft verringern.

### Kurze Beschreibung der Erfindung

[0005] Die vorliegende Erfindung beschreibt demgemäss eine Turbinenmaschine, die einen Wirbelvorsprung aufweist, der auf einer Komponente angeordnet ist, die während des Betriebs der Turbinenmaschine umläuft; wobei der Wirbelvorsprung eine äussere Oberfläche aufweist, die so gestaltet ist, dass sie, wenn die Komponente während des Betriebs umläuft, ein Wirbelströmungsmuster erzeugt.

[0006] Die vorliegende Erfindung beschreibt ausserdem eine Turbinenmaschine, die einen Wirbelvorsprung aufweist, der auf einer Komponente angeordnet ist, die während des Betriebs der Turbinenmaschine umläuft; wobei der Wirbelvorsprung eine äussere Oberfläche aufweist, die so gestaltet ist, dass sie, wenn die Komponente während des Betriebs umläuft, ein Wirbelströmungsmuster erzeugt; wobei: die Turbinenmaschine eine Rotorscheaufel aufweist, zu der ein Schaft, ein auf dem Schaft angeordnetes Schaufelblatt, eine von einem äusseren radialen Ende des Schaufelblattes getragenes Deckband und eine Dichtungsschiene gehören, die sich etwa radial von dem Schaufelband aus erstreckt; der Wirbelvorsprung ist an einer der äusseren radialen Flächen des Deckbands und der radial darauf ausgerichteten Fläche der Dichtungsschiene befestigt; und der Wirbelvorsprung ist so angeordnet, dass das induzierte Wirbelströmungsmuster eine Leckage des Arbeitsfluids von einer strömungsaufwärtigen Seite der Dichtungsschiene zu einer strömungsabwärtigen Seite der Dichtungsschiene hin verhindert.

[0007] Die vorliegende Erfindung beschreibt ausserdem eine Turbinenmaschine, die einen Wirbelvorsprung aufweist, der auf einer Komponente angeordnet ist, die während des Betriebs der Turbinenmaschine umläuft; wobei der Wirbelvorsprung eine äussere Oberfläche aufweist, die so gestaltet ist, dass sie, wenn die Komponente während des Betriebs umläuft, ein Wirbelströmungsmuster erzeugt; wobei: die Turbinenmaschine eine Rotorscheaufel aufweist, die über einen Schwalbenschwanz, der die Rotorscheaufel an einem Rotorrad befestigt, und zwischen dem Schaufelblatt und dem Schwalbenschwanz über einen Schaft verfügt; die Turbinenmaschine weist eine Statorschaufel auf; ein rinnenförmiger Hohlraum ist durch einen axialen Spalt zwischen der Rotorscheaufel und der Statorschaufel definiert; der Wirbelvorsprung ist an der Rotorscheaufel befestigt und auf dieser so ausgelegt und positioniert, dass das induzierte Wirbelströmungsmuster das Einströmen von Arbeitsfluid in den rinnenförmigen Hohlraum verhindert; der Wirbelvorsprung weist einen nichtaxialsymmetrischen Vorsprung auf; und ein Profil der äusseren Oberfläche des Wirbelvorsprungs weist eine im Wesentlichen sanft gekrümmte Kontur und eine näherungsweise teilschraubenartige (helicoide) Gestalt auf.

[0008] Diese und andere Merkmale der vorliegenden Erfindung sind aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen im Zusammenhang mit den Zeichnungen und den beigefügten Patentansprüchen zu entnehmen.

### **Kurze Beschreibung der Zeichnungen**

[0009] Ein besseres Verständnis dieser und anderer Merkmale der Erfindung ergibt sich aus der genauen Durchsicht der nachfolgenden detaillierten Beschreibung beispielhafter Ausführungsformen der Erfindung, im Zusammenhang mit den beigefügten Zeichnungen, in der:

[0010] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer beispielhaften Gasturbinenmaschine ist, in der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden können;

[0011] Fig. 2 eine Schnittdarstellung des Verdichters in der Gasturbinenmaschine nach Fig. 1 ist;

[0012] Fig. 3 eine Schnittdarstellung der Turbine in der Gasturbinenmaschine nach Fig. 1 ist;

[0013] Fig. 4 eine Seitenansicht einer Turbinenrotorschaukel gebräuchlicher Konstruktion ist;

[0014] Fig. 5 eine Draufsicht auf eine Turbinenrotorschaukel nach Fig. 4 ist;

[0015] Fig. 6 eine perspektivische Ansicht einer mit einem Deckband versehenen Turbinenrotorschaukel mit Wirbelvorsprüngen gemäss einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

[0016] Fig. 7 eine alternative perspektivische Ansicht der mit einem Deckband versehenen Turbinenrotorschaukel nach Fig. 6 ist;

[0017] Fig. 8 eine perspektivische Darstellung einer mit einem Deckband versehenen Turbinenrotorschaukel mit Wirbelvorsprüngen gemäss einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

[0018] Fig. 9 eine schematische Schnittdarstellung einer mit einem Deckband versehenen Turbinenrotorschaukel mit Wirbelvorsprüngen und dem umgebenden Turbinengehäuse gemäss einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

[0019] Fig. 10 eine schematische Schnittdarstellung des inneren radialen Teils mehrerer Reihen, Rotor- und Statorschaufeln ist wie sie bei einer beispielhaften Turbine in gebräuchlicher Konstruktion angeordnet sind;

[0020] Fig. 11 eine Schnittdarstellung eines rinnenartigen Hohlraums und eines Wirbelvorsprungs gemäss einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist; und

[0021] Fig. 12 eine Schnittdarstellung eines rinnenförmigen Hohlraums und eines Wirbelvorsprungs gemäss einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist.

### **Detaillierte Beschreibung der Erfindung**

[0022] Generell kann eine Gas- oder Verbrennungsturbinenmaschine dazu verwendet werden, eine beispielhafte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zu veranschaulichen (wenngleich gleiche oder andere Einsatzarten bei anderen Typen von Verbrennungsturbinenmaschinen möglich sind). Eine Verbrennungsturbinenmaschine weist einen Verdichter, eine Brennkammer und Turbine auf. Der Verdichter und die Turbine verfügen im Allgemeinen über Reihen von Schaufeln, die axial in Stufen gestapelt sind. Jede Stufe enthält eine Reihe in Umfangsrichtung voneinander beabstandeter Statorschaufeln, die fest sind und eine Reihe Rotorschaukeln, die um eine Mittelachse oder Welle rotieren. Im Betrieb laufen die Verdichterrotorschaukel um die Welle und verdichten im Zusammenwirken mit den Statorschaufeln einen Luftstrom. Die jeweils zugeführte verdichtete Luft wird dann in der Brennkammer dazu verwendet, einen zugeführten Brennstoff zu verbrennen. Anschliessend wird der sich aus der Verbrennung ergebende Strom heisser expandierender Gase, d.h. das Arbeitsfluid, durch den Turbinenabschnitt der Maschine expandiert. Der Durchstrom von Arbeitsfluid durch die Turbine bewirkt, dass die Rotorschaukeln umlaufen. Die Rotorschaukeln sind mit einer mittigen Welle so verbunden, dass die Umlaufbewegung der Rotorschaukeln die Welle im Umdrehung versetzt. Auf diese Weise wird die in dem Brennstoff enthaltene Energie in mechanische Energie der umlaufenden Welle umgesetzt, was beispielsweise dazu benutzt werden kann, die Rotorschaukeln des Verdichters so in Drehung zu versetzen, dass der für die Verbrennung erforderliche Zustrom verdichteter Luft erzeugt wird, oder die Spulen eines Generators, so dass elektrische Energie erzeugt wird.

[0023] Die Leistung einer Turbinenmaschine wird wesentlich durch deren Fähigkeit beeinflusst, eine Leckageströmung und/oder die Verwendung von Kühlluft zu reduzieren oder zu eliminieren. Leckage, welche die Ausgangsleistung und den Wirkungsgrad der Turbinenmaschine verringert, betrifft allgemein Arbeitsfluid, das neben den Schaufelblättern der Turbinenrotorschaukeln derart vorbeiströmt, dass aus ihm keine Arbeit entzogen wird. Eine Art in welcher Leckage auftritt, ist eine Strömung von Arbeitsfluid über die äussere radiale Spitze der Rotorschaukeln. Um das zu verhüten, sind Turbinenrotorschaukeln häufig mit Deckbändern und einer Dichtungsschiene versehen, die im Wesentlichen radial von der äusseren Oberfläche des Deckbands hervorsticht. Die Dichtungsschiene erstreckt sich in der Regel in Umfangsrichtung zwischen einander gegenüberliegenden Enden des Deckbands in der allgemeinen Drehrichtung des Turbinenrotors.

**[0024]** Wenngleich die Dichtungsschienen eine gewisse Leckage verhindern, so bleibt doch die Leckage über die äusseren radialen Spitzen der Rotorscheaufeln ein beträchtliches Problem. Bei einigen gebräuchlichen Konstruktionen ragen Dichtungsschienen radial in eine in einem stationären Turbinengehäuse ausgebildete Nut. Um ein Anlaufen während des Betriebs zu verhüten, muss ein Spiel zwischen der radialen Spitze der Dichtungsschiene und dem stationären Turbinengehäuse aufrechterhalten werden. Dieses Spiel oder dieser Spalt ermöglichen aber das Auftreten von Leckage. Bei anderen gebräuchlichen Konstruktionen ragen die Dichtungsschienen in eine stationäre, wabenartige Ummantelung hinein, die dem umlaufenden Spitzendeckband gegenüber liegt. Typischerweise ist aus verschiedenen Gründen an der (auch als Saugseite bezeichneten) vorderen Kante der Dichtungsschiene ein Schneidzahn so angeordnet, dass er eine Nut in den wabenartigen Laufweg der stationären Ummantelung einschneidet, die breiter ist als die Breite der Dichtungsschiene. Dieser geringfügig breitere Laufweg schafft ein Spiel oder einen Spalt, der eine Leckströmung zwischen dem Hochdruck- und dem Niederdruckbereich auf gegenüberliegenden Seiten der Dichtungsschiene ermöglicht. Wie dem Fachmann bekannt, beeinträchtigt eine Leckage dieser Art die Leistung und den Wirkungsgrad der Turbinenmaschine. Es besteht deshalb ein Bedürfnis nach verbesserten Verfahren, Systemen und/oder -Vorrichtungen, die diese Art Spalten oder Hohlräume wirksamer abdichten, so dass eine Leckage verringert oder minimiert werden kann.

**[0025]** Ausserdem wird, wie bereits erwähnt, oft Kühlluft von dem Verdichter zu Teilen der Turbine hin abgezweigt, um bestimmte Komponenten gegen die extremen Temperaturen des Heissgaspfades zu schützen. Die Kühlluft kann direkt zum Kühlen der Komponenten oder dazu verwendet werden, Hohlräume zu spülen, in der Art, dass kein Arbeitsfluid in die gespülten Hohlräume eintritt. Beispielsweise ist ein Bereich, der gegen extreme Temperaturen des Arbeitsfluids empfindlich ist, der Raum, der allgemein betrachtet radial einwärts von dem Heissgaspfad liegt. Dieser Bereich, der oft als innerer Radraum oder Turbinenradraum bezeichnet wird, enthält mehrere Turbinenräder oder -rotoren, auf denen die umlaufenden Rotorscheaufeln befestigt sind. Wenngleich die Rotorscheaufeln so ausgelegt sind, dass sie den extremen Temperaturen des Heissgaspfades widerstehen, so gilt dies in der Regel nicht für die Rotoren und demgemäss ist es erforderlich, zu verhindern, dass Arbeitsfluid aus dem Heissgaspfad in den Radraum einströmt.

**[0026]** Notwendigerweise sind aber axiale Spalten zwischen den umlaufenden Schaufeln und den diese umgebenden stationären Teile vorhanden, und durch diese Spalten kann Arbeitsfluid Zugang zu dem Radraum erlangen. Ausserdem können, als Folge der jeweiligen Erwärmung der Maschine und wegen unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen den umlaufenden und den stationären Komponenten, diese Spalten sich erweitern oder schrumpfen, abhängig von der jeweiligen Betriebsweise der Maschine. Diese Grössenvariabilität macht es schwierig, diese Spalten ausreichend abzudichten, was im Allgemeinen bedeutet, dass der Turbinenradraum gespült werden muss, um einen Heiss-gaseintritt zu verhüten.

**[0027]** Spülen erfordert, dass der Druck in dem Radraum auf einem Niveau gehalten werden muss, das höher ist als der Druck des Arbeitsfluids, um so eine positive Spülluftströmung durch die axialen Spalten und in den Heissgasweg hinein zu erzeugen. Typischerweise wird dies in der Weise erreicht, dass Luft von dem Verdichter abgezweigt und direkt in den Radraum eingeleitet wird. Wenn dies geschieht, wird eine nach aussen gerichtete Strömung von Spülluft erzeugt (d.h. ein Spülluftstrom aus dem Radraum zu dem Heissgasweg hin), und diese Auswärtsströmung durch die Spalten verhütet den Einstrom von Arbeitsfluid. Auf diese Weise können die Komponenten in dem Radraum gegen die extremen Temperaturen des Arbeitsfluids geschützt werden.

**[0028]** Das Spülen des Radraums hat aber seinen Preis. Wie dem Fachmann bekannt, beeinträchtigt sein Einsatz die Leistung und den Wirkungsgrad der Turbinenmaschine, weil die Spülluft an der Verbrennung vorbei strömt. Das bedeutet, dass grössere Mengen Kühlluft die Ausgangsleistung und den Wirkungsgrad der Maschine verringern. Demgemäss sollte die Verwendung von Kühlluft, wenn immer möglich, minimiert werden. Demzufolge besteht auch ein Bedürfnis nach verbesserten Verfahren, Systemen und/oder Vorrichtungen, die Spalten oder Hohlräume wirkungsvoller gegen Arbeitsfluideintritt abdichten, so dass der Einsatz von Spülluft minimiert werden kann.

**[0029]** Wie im Nachfolgenden im Detail beschrieben, schlägt die vorliegende Erfindung eine Befriedigung der vorstehend geschilderten Bedürfnisse (d.h. der Notwendigkeit einer verbesserten Abdichtung zur Verringerung von Leckageströmungen und der Verwendung von Kühlluft in Turbinenmaschinen, wie auch zur Schaffung verbesserter Kühleigenschaften für die Kühlluft und zusätzlicher Vorteile) durch die Verwendung einer aerodynamischen Beschauflung vor, die einen Wirbelvorhang erzeugt. Das bedeutet, dass das Drehmoment von umlaufenden Komponenten der Turbinenmaschine bei oder nahe einer Leckage oder eines Spülspaltes in kinetische Fluidenergie umgesetzt werden kann, derart, dass verbesserte Abdichtungseigenschaften erreicht werden können. Insbesondere kann das mit Energie beladene Fluid dazu verwendet werden, Leckage oder die Verwendung von Kühlluft zu verringern oder zu eliminieren, abhängig von den speziellen Anforderungen des jeweiligen Anwendungsfalles. Dies kann, wie in nachstehenden grösseren Einzelheiten beschrieben, durch die Verwendung eines Wirbelvorsprungs gemäss der Erfindung erreicht werden.

**[0030]** Im Nachstehenden sind zwei beispielhafte Anwendungen der vorliegenden Erfindung beschrieben. Die erste betrifft die Verwendung eines Wirbelvorsprungs gemäss einer beispielhaften Ausführungsform zur besseren Abdichtung des Spaltes zwischen dem äusseren radialen Ende einer Turbinenschaufel und der stationären Ummantelung derart, dass zusammen mit anderen Vorteilen die Leckageströmung verringert wird. Die zweite beispielhafte Anwendung betrifft die Verwendung eines Wirbelvorsprungs gemäss einer alternativen beispielhaften Ausführungsform zur besseren Abdichtung

eines Spaltes in dem Heissgaspfad derart, dass zusammen mit anderen Vorteilen der Einsatz von Kühlluft in einem zu spülenden Hohlraum verringert ist.

**[0031]** Um den technischen Hintergrund nun unter Bezugnahme auf die Figuren zu veranschaulichen, zeigen die Fig. 1 bis 3 eine beispielhafte Gasturbinenmaschine, in der Ausführungsformen der vorliegenden Anmeldung eingesetzt werden können. Für den Fachmann versteht sich, dass die vorliegende Erfindung nicht auf diese Art der Verwendung beschränkt ist. Wie erwähnt, kann die vorliegende Erfindung bei Gasturbomaschinen eingesetzt werden, wie Maschinen, die bei der Energieerzeugung und in Flugzeugen Verwendung finden, in Gasturbinenmaschinen und anderen Arten umlaufender Maschinen. Fig. 1 ist eine schematische Veranschaulichung einer Gasturbinenmaschine 50. Gasturbinenmaschinen arbeiten allgemein in der Weise, dass sie Energie aus einem verdichteten Heissgasstrom entziehen, der durch die Verbrennung eines Brennstoffs in einem Strom verdichteter Luft erzeugt wird. Wie in Fig. 1 dargestellt, kann die Gasturbinenmaschine 50 mit einem Axialverdichter 52 ausgelegt sein, der mittels einer gemeinsamen Welle oder eines gemeinsamen Rotors an einen nachgeschalteten Turbinenabschnitt oder eine Turbine 54 angekuppelt ist, und einer Brennkammer 56, die zwischen dem Verdichter 52 und der Turbine 54 angeordnet ist.

**[0032]** Fig. 2 zeigt eine Ansicht eines beispielhaften mehrstufigen Axialverdichters 52, der in der Gasturbinenmaschine nach Figur 1 verwendet werden kann. Wie dargestellt, kann der Verdichter 52 mehrere Stufen aufweisen. Jede Stufe kann eine Reihe Verdichterrotschaufeln 60 aufweisen, auf die jeweils eine Reihe Verdichterstatorschaufeln 62 folgen. Auf diese Weise kann eine erste Stufe eine Reihe Verdichterrotschaufeln 60 aufweisen, die um eine gemeinsame Mittelwelle umlaufen und auf die eine Reihe Verdichterstatorschaufeln 62 folgen, die während des Betriebs stationär bleiben. Die Verdichterstatorschaufeln 62 sind generell in Umfangsrichtung voneinander beabstandet und rings um die Drehachse ortsfest. Die Verdichterrotschaufeln 60 sind in Umfangsrichtung voneinander beabstandet und an der Welle befestigt. Wenn im Betrieb die Welle umläuft, laufen die Verdichterrotschaufeln 60 um diese um. Wie dem Fachmann bekannt, sind die Verdichterrotschaufeln 60 so gestaltet, dass sie beim Umlaufen um die Welle der Luft oder dem Fluid, das durch den Verdichter 52 strömt, kinetische Energie verleihen. Der Verdichter 52 kann neben den in Figur 2 veranschaulichten Stufen weitere Stufen aufweisen. Zusätzliche Stufen können eine Anzahl in Umfangsrichtung voneinander beabstandeter Verdichterrotschaufeln beinhalten, an die sich jeweils mehrere in Umfangsrichtung voneinander beabstandete Verdichterstatorschaufeln 62 anschliessen.

**[0033]** Figur 3 veranschaulicht eine Teilansicht eines beispielhaften Turbinenabschnitts oder einer Turbine 54, die in der Gasturbinenmaschine nach Figur 1 verwendet werden kann. Die Turbine 54 kann ebenfalls mehrere Stufen beinhalten. Es sind drei beispielhafte Stufen veranschaulicht. Es können aber in der Turbine 54 mehr oder weniger Stufen vorhanden sein. Eine erste Stufe beinhaltet mehrere Turbinenschaufeln oder Turbinenrotorschaukeln 66, die im Betrieb um die Welle umlaufen und eine Anzahl Düsen oder Turbinenstatorschaufeln 68, die während des Betriebes stationär bleiben. Die Turbinenstatorschaufeln 68 sind, allgemein gesehen, in Umfangsrichtung voneinander beabstandet und rings um die Drehachse ortsfest. Die Turbinenrotorschaukeln 66 können auf einem (nicht dargestellten) Turbinenrad angeordnet sein, so dass sie um die (nicht dargestellte) Welle umlaufen. Ausserdem ist eine zweite Stufe der Turbine 54 dargestellt. Die zweite Stufe enthält in gleicher Weise eine Anzahl in Umfangsrichtung voneinander beabstandeter Turbinenstatorschaufeln 68, auf die jeweils eine Anzahl in Umfangsrichtung voneinander beabstandeter Turbinenrotorschaukeln 66 folgt, die ebenfalls auf einem Turbinenrad angeordnet sind, so dass sie mit diesem umlaufen. Weiterhin ist eine dritte Stufe dargestellt. Diese enthält in ähnlicher Weise mehrere Turbinenstatorschaufeln 68 und Rotorschaukeln 66. Es versteht sich, dass die Turbinenstatorschaufeln 68 und die Turbinenrotorschaukeln 66 in dem Heissgaspfad in der Turbine 54 liegen. Die Strömungsrichtung der Heissgase durch den Heissgaspfad ist durch einen Pfeil angedeutet. Für den Fachmann versteht sich, dass die Turbine 54 ausser den in Figur 3 dargestellten Stufen noch weitere Stufen aufweisen kann. Jede zusätzliche Stufe kann eine Reihe Turbinenstatorschaufeln 68 beinhalten, auf die eine Reihe Turbinenrotorschaukeln 66 folgt.

**[0034]** Im Betrieb kann eine Umlaufbewegung der Verdichterrotschaufeln 60 in dem Axialverdichter 52 einen Luftstrom verdichten. In der Brennkammer 56 kann, wenn verdichtete Luft mit einem Brennstoff vermischt und gezündet wird, Energie freigesetzt werden. Der sich ergebende Strom heisser Gase aus der Brennkammer 56, die als das Arbeitsfluid bezeichnet werden können, wird sodann über die Turbinenrotorschaukeln 66 geleitet, wobei der Arbeitsfluidstrom die Umlaufbewegung der Turbinenrotorschaukeln 66 um die Welle erzeugt. Dadurch wird die Energie des Arbeitsfluidstroms in mechanische Energie in den umlaufenden Schaufeln und, wegen der Verbindung zwischen den Rotorschaukeln und der Welle, der umlaufenden Welle umgesetzt. Die mechanische Energie der Welle kann sodann dazu verwendet werden, die Verdichterrotschaufeln 60 in Umlauf zu versetzen derart, dass die erforderliche Zufuhr verdichteter Luft erzeugt wird und beispielsweise auch ein Generator elektrische Energie erzeugt.

**[0035]** Vor einer weiteren Erläuterung erscheint es zweckmässig, zur klaren Darstellung der Erfindung der vorliegenden Anmeldung eine Terminologie auszuwählen, die sich auf bestimmte Maschinenkomponenten oder Teile einer Turbinenmaschine bezieht und diese beschreibt. Wenn immer möglich, wird eine gebräuchliche industrielle Terminologie verwendet und in einer gebräuchlichen Bedeutung entsprechenden Weise benutzt. Jegliche solche Terminologie soll aber eine breite Bedeutung haben und nicht so ausgelegt werden, dass die beabsichtigte Bedeutung und der Schutzbereich der beigefügten Patentansprüche ungebührlich beschränkt sind. Der Fachmann weiss, dass bestimmte Komponenten häufig mit mehreren verschiedenen Bezeichnungen bezeichnet werden. Auch kann, was hier als ein Einzelteil beschrieben ist, in anderem Kontext auch aus mehreren Komponententeilen bestehen und so in Bezug genommen werden, oder aber was hier als mehrere Komponententeile enthaltend beschrieben ist, kann in gewissen Fällen als Einzelteil ausgebildet und als

solches in Bezug genommen sein. Allgemein gilt, dass beim Verständnis des Umfangs der hier beschriebenen Erfindung die Aufmerksamkeit nicht nur auf die Terminologie und die hier gegebene Beschreibung gelenkt werden darf, sondern auch auf den Aufbau, die Konfiguration, die Funktion und/oder die Verwendung der Komponente, wie sie hier beschrieben ist.

**[0036]** Zusätzlich können hier verschiedene beschreibende Begriffe verwendet sein. Die Bedeutung dieser Begriffe soll die nachfolgenden Definitionen beinhalten. Der Begriff «Rotorschaukel» ist ohne weitere spezifische Bedeutung ein Bezug auf die umlaufenden Schaukeln, entweder des Verdichters 52 oder der Turbine 54 wozu sowohl Verdichterrotorschaukeln 60 als auch Turbinenrotorschaukeln 66 gehören. Der Begriff «Statorschaukel» nimmt ohne weitere spezifische Bedeutung auf die feststehenden Schaukeln, entweder des Verdichters 52 oder der Turbine 54 Bezug, wobei sowohl Verdichterstatorschaukeln 62 als auch Turbinenstatorschaukeln 68 gehören. Der Begriff «Schaufel» wird hier so verwendet, dass er sich auf jeden Schaukeltyp bezieht. Demgemäss beinhaltet der Begriff «Schaufeln» ohne weitere spezifische Erläuterung alle Typen von Turbinenmaschinenschaufeln, einschliesslich Verdichterrotorschaukeln 60, Verdichterstatorschaufeln 62, Turbinenrotorschaukeln 66 und Turbinenstatorschaufeln 68. Ausserdem sind, so wie hier verwendet, «stromabwärts» und «stromaufwärts» Begriffe, die eine auf den Arbeitsfluidstrom durch die Turbine bezügliche Richtung angeben. Der Begriff «stromabwärts» bedeutet deshalb die Strömungsrichtung, während der Begriff «stromaufwärts» die der Strömung durch die Turbine entgegengesetzte Richtung bedeutet. Im Zusammenhang mit diesen Begriffen beziehen sich die Begriffe «hinten» und/oder «Hinterkante» auf die stromabwärtige Richtung, das stromabwärtige Ende und/oder die Richtung des stromabwärtigen Endes der gerade beschriebenen Komponenten. Die Begriffe «vorne» und/oder «Vorderkante» beziehen sich auf die stromaufwärtige Richtung, das stromaufwärtige Ende und/oder in die Richtung des stromaufwärtigen Endes der gerade beschriebenen Komponenten. Der Begriff «radial» betrifft eine Bewegung und/oder eine Position rechtwinklig zu einer Achse. Häufig ist es erforderlich Teile zu beschreiben, die sich in unterschiedlichen radialen Positionen bezüglich einer Achse befinden. In diesem Falle, wenn eine erste Komponente näher der Achse liegt als eine zweite Komponente, kann hier gesagt sein, dass die erste Komponente «innerhalb» oder «radial innen von» der zweiten Komponente liegt. Falls auf der anderen Seite die erste Komponente weiter von der Achse ab liegt als die zweite Komponente, kann hier ausgesagt sein, dass sich die erste Komponente «ausserhalb» oder «radial auswärts von» der zweiten Komponente befindet. Der Begriff «axial» bezieht sich auf eine Bewegung oder Position parallel zu einer Achse, und der Ausdruck «in Umfangsrichtung» bezieht sich auf eine Bewegung oder Position rings um eine Achse.

**[0037]** Bezug nehmend nun auf die Fig. 4 bis 9 wird die erste beispielhafte Anwendung eines Wirbelvorsprungs gemäss einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erläutert. Die Fig. 4, 5 zeigen eine typische, an der Spitze mit einem Deckband versehene Turbinenrotorschaukel 100. Die Turbinenrotorschaukel 100 weist ein Schaufelblatt 102 auf, das, wie beschrieben, die aktive Komponente ist, welche die Strömung des Arbeitsfluids aufnimmt. Wie dargestellt, kann auf der Oberseite des Schaufelblatts 102 ein Spitzendeckband 104 angeordnet sein. Das Spitzendeckband 104 ist im Wesentlichen eine ebene Platte, die auf ihre Mitte zu durch das Schaufelblatt 102 abgestützt ist. Längs der Oberseite des Deckbands 104 kann eine Dichtungsschiene 106 angeordnet sein. Die Dichtungsschiene 106 ist, wie im vorstehenden beschrieben, so ausgebildet, dass sie den Durchstrom von Arbeitsfluid durch den Spalt zwischen dem Deckband 104 und der Innenfläche der umgebenden Komponente (wozu wie erläutert bei einigen Anwendungen eine stationäre Ummantelung oder abtragbare Ummantelung gehören) behindert. Wie ebenfalls bereits erläutert, verhindern aber bestimmte praktische Zwänge, dass die Dichtungsschiene 106 eine wirksame Abdichtung gegen Leckageströmungen ist.

**[0038]** Die Fig. 6 bis 8 veranschaulichen eine mit einem Deckband versehene Turbinenrotorschaukel mit Wirbelvorsprüngen 110 gemäss beispielhaften Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. Wie dargestellt, kann ein Wirbelvorsprung 110 an der näherungsweise radial ausgerichteten Fläche der Dichtungsschiene 106, die hier als die Seite der Dichtungsschiene bezeichnet ist, befestigt sein. Der Wirbelvorsprung 110 kann, wie dargestellt, an beiden Seiten der Dichtungsschiene 106 befestigt sein, das heisst auf der stromaufwärtigen und der stromabwärtigen Seite, wenngleich bei anderen Ausführungsformen der Wirbelvorsprung 110 lediglich auf einer Seite der Dichtungsschiene 106 angebracht sein kann. Allgemein ist, wie dargestellt, der Wirbelvorsprung 110 ein nicht achsymmetrischer Vorsprung, der so gestaltet ist, dass er während des Betriebs ein Wirbelströmungsmuster auf jeder Seite der Dichtungsschiene 106 induziert. Wie nachfolgend noch im grösseren Detail erörtert, kann die Wirbelströmung dazu verwendet werden, einem Leckstrom über die Dichtungsschiene 106 entgegen zu wirken, diesen zu verhindern oder zu behindern, derart, dass der Wirkungsgrad der Turbinenmaschine verbessert wird.

**[0039]** Der Wirbelvorsprung 110 kann verschiedene Formen und Gestalten annehmen, und die hier angegebenen Beispiele sind nicht beschränkend zu verstehen. Im Allgemeinen weist der Wirbelvorsprung 110 einen axialen Vorsprung auf, der sich auch in Umfangsrichtung und radial erstreckt. Bei einigen Ausführungsformen, wie sie in den Fig. 6, 7 dargestellt sind, kann der Wirbelvorsprung 110 eine dünne Rippe aufweisen, die sich längs einer Achse wendet oder krümmt. Wie im Einzelnen noch erläutert, wird dadurch eine Aussenoberfläche ausgebildet, die eine näherungsweise teilschraubenartige (helicoideale) Gestalt aufweist. Ausserdem kann der Wirbelvorsprung 110 so positioniert sein, dass wenn in Bewegung oder einem Luftstrom ausgesetzt, diese Aussenoberfläche mit dem sie umgebenden Arbeitsfluid zusammenwirkt und in diesem ein Wirbelströmungsmuster erzeugt. Zu beachten ist, dass bei nicht dargestellten alternativen Ausführungsformen die Aussenoberfläche des Wirbelvorsprungs 110 anstatt eine glatte gekrümmte Kontur zu haben, aus linearen Segmenten zusammengesetzt sein kann, die ähnliche Wirbelströmungsmuster erzeugen wie das gekrümmte Ausführungsbeispiel nach den Fig. 6, 7.

**[0040]** Die Fig. 6, 7 veranschaulichen zwei verschiedene Ansichten von Wirbelvorsprüngen 110, so wie diese auf einer beispielhaften, mit einem Deckband versehenen Turbinenschaufel positioniert sein können. Die Wirbelvorsprünge 110 können als ein stromaufwärtiger Wirbelvorsprung 112 und ein stromabwärtiger Wirbelvorsprung 114 bezeichnet werden. Wie dargestellt, weist jeder dieser Wirbelvorsprünge 112, 114 eine näherungsweise rechteckige Gestalt auf, die längs eine Achse verwunden ist. Die Verwindungsachse kann, wie dargestellt, die in Umfangsrichtung ausgerichtete Achse sein. Das Mass der Verwindung kann abhängig von der jeweiligen Anwendung variieren. So wie hier verwendet, kann das Mass der Verwindung als der Winkelversatz zwischen den einander gegenüberliegenden Kanten des Wirbelvorsprungs beschrieben werden, die im Wesentlichen rechtwinklig zu der Achse verlaufen, längs derer der Wirbelvorsprung 110 verwunden ist. In Fällen, in denen eine oder beide der einander gegenüberliegenden Kanten gekrümmt sind, kann eine die beiden Ecken der Kanten miteinander verbindende Bezugslinie zur Bestimmung des Winkels benutzt werden. Wie in den Fig. 6, 7 dargestellt, kann diese Bezugslinie mit einer die gegenüberliegende Kante wiedergebenden Bezugslinie verglichen werden, um einen Winkel auszubilden, der als das Mass der Verwindung bei dem Wirbelvorsprung 110 definiert ist. Bei einigen Ausführungsformen hat der Wirbelvorsprung 110 ein solches Mass der Verwindung, dass der ausgebildete Winkel zwischen etwa  $10^\circ$  und  $80^\circ$  liegt. Vorzuziehen ist, dass bei anderen Ausführungsformen der Wirbelvorsprung 110 ein solches Mass der Verwindung aufweist, dass der ausgebildete Winkel zwischen etwa  $30^\circ$  und  $60^\circ$  liegt. Weiterhin hat der Wirbelvorsprung 110 bei anderen bevorzugten Ausführungsformen ein solches Mass der Verwindung, dass der ausgebildete Winkel etwa  $45^\circ$  beträgt.

**[0041]** Der stromaufwärtige Wirbelvorsprung 112 und der stromabwärtige Wirbelvorsprung 114 sind, wie dargestellt, in Gestalt und Form gleich, jeder kann aber in unterschiedlicher Weise befestigt und ausgerichtet sein, um die gewünschten Resultate zu erzielen. Jeder ist von Gestalt im Wesentlichen rechteckig und weist vier Seiten oder Kanten auf. Die vier Kanten können im Hinblick auf ihre Orientierung und Platzierung auf der Rotorscheufel und auf die Drehrichtung der Rotorscheufel im Betrieb beschrieben werden (zu beachten ist, dass die Drehrichtung der Rotorscheufel in den Fig. 6, 7 durch einen Pfeil 115 angegeben ist). Der stromaufwärtige Wirbelvorsprung 112 kann deshalb aufweisen: Eine in die Drehrichtung blickende oder vordere Kante 116; eine innen liegende Kante 117, eine hintere Kante 118 und eine aussen liegende Kante 119. Der stromaufwärtige Wirbelvorsprung 112 kann, wie dargestellt, an der Dichtungsschiene 106 längs zweier seiner Kanten befestigt sein. Diese Kanten können, wie dargestellt, die Vorderkante 116 und die einwärtige Kante 117 sein. Die verwundene Gestalt des Wirbelvorsprungs 110 kann, wie dargestellt, dadurch ausgebildet sein, dass die der von den beiden befestigten Kanten gebildeten Ecke diagonal gegenüberliegende Ecke, welche die zwischen der Aussenkante 119 und der Hinterkante 118 gebildete Ecke ist, so konfiguriert ist, dass diese Ecke von der Seite der Dichtungsschiene 106 entfernt liegt. Insbesondere kann die vordere Kante 116 näherungsweise linear und parallel mit der Seite der Dichtungsschiene 106 sein, während die Hinterkante 118 dadurch gekrümmt sein kann, dass die zwischen der Aussenkante 119 und der Hinterkante 118 ausgebildete Ecke, wie dargestellt, von der Seite der Dichtungsschiene 106 weg gebogen ist. Diese Art Konfiguration führt zu einer Vorderkante 116, die parallel zu der radial ausgerichteten Dichtungsschiene 106 ist und zu einer Hinterkante 118, die in Bezug auf die Vorderkante 116 näherungsweise gegen den Uhrzeigersinn verwunden ist (betrachtet aus einer Position hinter der Hinterkante des Deckbandes 104).

**[0042]** Der strömungsabwärtige Wirbelvorsprung 114 kann, wie dargestellt, derart beschrieben werden, dass er aufweist: Eine in die Drehrichtung ausgerichtete oder vordere Kante 120; eine Innenkante 121, eine Hinterkante 122 und eine Aussenkante 123. Der strömungsabwärtige Wirbelvorsprung 114 kann, wie dargestellt, längs einer Kante an der Dichtungsschiene 106 befestigt sein. Diese Kante kann, wie dargestellt, die Innenkante 121 sein. Die verwundene Gestalt des Wirbelvorsprungs 114 kann, wie ebenfalls dargestellt, dadurch ausgebildet sein, dass die zwischen der Hinterkante 122 und der Aussenkante 123 ausgebildete Ecke so konfiguriert ist, dass sie ausserhalb der äusseren radialen Seite des Deckbandes 104 liegt. Insbesondere kann die Vorderkante 120 näherungsweise linear und rechtwinklig zu der Seite der Dichtungsschiene 106 sein, während die Hinterkante 122 so gekrümmt ist, dass die zwischen der Aussenkante 123 und der Hinterkante 122 gebildete Ecke, wie dargestellt, in einer nach aussen zu gerichteten radialen Richtung versetzt ist. Diese Art Konfiguration ergibt eine Vorderkante 120, die parallel zu der äusseren Oberfläche des Deckbandes 104 ist, und eine Hinterkante 122, die in Bezug auf die Vorderkante 120 näherungsweise gegen den Uhrzeigersinn verwunden ist (betrachtet aus einer Position hinter der Hinterkante des Deckbandes 104).

**[0043]** Bei einer nicht dargestellten alternativen Ausführungsform kann der stromabwärtige Wirbelvorsprung 114 auch eine Verbindung mit der äusseren radialen Oberfläche des Deckbandes haben. In diesem Falle kann der stromabwärtige Wirbelvorsprung 114 immer noch mit der Seite der Dichtungsschiene 106 verbunden sein, oder er kann vollständig von dem Deckband 104 getragen sein. Bei anderen nicht dargestellten Ausführungsformen kann der stromabwärtige Wirbelvorsprung 114 von der Dichtungsschiene 106 und vollständig von der äusseren radialen Oberfläche des Deckbandes getragen sein.

**[0044]** Bei einigen alternativen Ausführungsformen kann der Wirbelvorsprung 110 anstelle der verhältnismässig dünnen Rippe ein Vorsprung mit einem dickeren oder kräftigen Körpers ein. Fig. 8 veranschaulicht einen stromaufwärtigen Wirbelvorsprung 112 und einen stromabwärtigen Wirbelvorsprung 114 dieser Art. Wie dargestellt, weist jeder dieser Wirbelvorsprünge 110 eine Aussenfläche auf, die eine ähnlich gekrümmte Kontur hat, wie sie bei den Ausführungsformen nach den Fig. 6, 7 veranschaulicht ist. Demzufolge wirken die Wirbelvorsprünge 112, 114 der Fig. 8 gleich wie die in den Fig. 6, 7 dargestellte Ausführungsformen mit dünner Rippe. Der dickere Körper kann für einige Anwendungen von Vorteil sein, weil eine grosse Oberfläche zur Befestigung verwendet werden kann, um so die Verbindung zwischen dem Wirbelvorsprung

110 und dem Deckband oder einer anderen Oberfläche zu verstärken. Alternativ kann der dickere Körper die Möglichkeit bieten, den Vorsprung einfacher als ein integrales Teil der Komponente zu fertigen, mit der er verbunden ist. Es versteht sich, dass alle anderen Ausführungsformen, die hier so angegeben sind, dass sie verhältnismässig dünne Rippen aufweisen, auch mit den dickeren Körpern, wie in Fig. 8 dargestellt versehen sein können.

**[0045]** Fig. 9 veranschaulicht eine schematische Darstellung eines stromaufwärtigen Wirbelvorsprungs 112 und eines stromabwärtigen Wirbelvorsprungs 14 im Gebrauch. Wie es bei gebräuchlicher Konstruktion üblich ist, erstreckt sich die Dichtungsschiene 106 von dem Deckband 104 radial nach aussen und teilweise in eine Vertiefung oder Nut 125, die in dem Turbinengehäuse 126 ausgebildet ist (zu beachten ist, dass wie oben erwähnt, in gewissen Fällen die Dichtungsschiene 106 dazu verwendet kann, eine Nut in ein abtragbares Wabenmaterial einzuschneiden. Die bei dieser Anordnung ausgebildete Dichtung erlaubt aber, wie ebenfalls bereits erläutert, eine Leckage. Der Fachmann sieht, dass die vorliegende Erfindung auch für diese Art Anordnung verwendet werden kann). Im Gebrauch strömt normalerweise eine Leckageströmung durch den Spalt, der zwischen der Dichtungsschiene 106 und der Nut 125 vorhanden sind. Dem Fachmann ist bekannt, dass die Umlaufbewegung der Rotorscheufeln und die Ausbildung und Platzierung des stromaufwärtigen Wirbelvorsprungs 112 und des stromabwärtigen Wirbelvorsprungs 114 bewirken, dass sich ein Wirbelströmungsmuster entwickelt, das durch einen Pfeil 127 bzw. 128 angedeutet ist. Insbesondere erzeugt die von dem stromaufwärtigen Wirbelvorsprung 112 induzierte Strömung, wie in dem Pfeil 127 angedeutet, eine Spiralströmung, die bogenförmig nach aussen geht und einen Widerstand gegen Arbeitsfluid bildet, das sonst zu der Nut 125 hin und durch den Spalt strömen würde. Das bedeutet, dass das induzierte Wirbelströmungsmuster 127 sich so kräuselt, dass es allgemein zumindest teilweise dem Arbeitsfluid entgegen wirkt, das zu dem Spalt hin strömen will.

**[0046]** Die von dem strömungsabwärtigen Wirbelvorsprung 114 induzierte Strömung wirkt, wie durch einen Pfeil 128 angedeutet, in gleicher Weise mit dem Unterschied, dass sie einer Durchströmung des Spaltes von der Rückseite des Spaltes oder von einer stromabwärtigen Position aus, entgegenwirkt. Mehr im Einzelnen erzeugte die von dem stromabwärtigen Wirbelvorsprung 114 induzierte Strömung, wie durch den Pfeil 128 angedeutet, eine Spiralströmung, die auswärts gebogen ist und die einen Widerstand gegen Arbeitsfluid bildet, das sonst durch den Spalt durchströmen würde. Das bedeutet, dass das induzierte Wirbelströmungsmuster 128 sich so herum kräuselt, dass es allgemein zumindest teilweise Arbeitsfluid entgegenwirkt, das gerade den Spalt durchströmen will.

**[0047]** Nochmals auf die Figuren Bezug nehmend, ist dort eine zweite beispielhafte Verwendung eines Wirbelvorsprungs gemäss einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht. Fig. 10 zeigt schematisch eine Schnittdarstellung des radial innen liegenden Teils mehrerer Reihen von Schaufeln, wie sie in einer beispielhaften Turbine herkömmlicher Bauart vorgesehen sein können. Der Fachmann sieht, dass die Darstellung die radial einwärts liegenden Merkmale von zwei Reihen von Rotorscheufeln 66 und zwei Reihen von Statorschaufeln 68 zeigt. Jede Rotorscheufel 66 verfügt ganz allgemein über ein Schaufelblatt 102, das in dem Heissgaspfad liegt und mit dem Arbeitsfluid der Turbine zusammenwirkt (dessen Strömungsrichtung durch einen Pfeil 131 angedeutet ist), einen Schwalbenschwanz 132, der die Rotorscheufel 66 an einem Rotorrad 134 befestigt und zwischen dem Schaufelblatt 102 und dem Schwalbenschwanz 132 über einen Abschnitt, der typischerweise als Schaft 136 bezeichnet wird. So wie hier verwendet, soll sich der Schaft 136 auf den Abschnitt der Rotorscheufel 66 beziehen, der zwischen den Befestigungsmitteln, in diesem Fall dem Schwalbenschwanz 132 und dem Schaufelblatt 102 liegt. Jede Statorschaufel 68 verfügt allgemein über ein Statorschaufelblatt oder Schaufelblatt 140, das in dem Heissgaspfad liegt und mit dem Arbeitsfluid zusammenwirkt und radial einwärts von dem Schaufelblatt 140 über eine innere Seitenwand 142 sowie radial innerhalb der inneren Seitenwand 142 und über einen Zwischenboden 144. Typischerweise ist die innere Seitenwand 142 einstückig mit dem Schaufelblatt 140 und sie bildet die innere Begrenzung des Heissgaspfades. Der Zwischenboden 144 ist typischerweise an der inneren Seitenwand 142 befestigt (wenngleich er auch einstückig mit dieser ausgebildet sein kann) und erstreckt sich in einer radial nach innen gerichteten Richtung um eine Dichtung 146 mit der umlaufenden Maschinerie zu bilden.

**[0048]** Zu bemerken ist, dass längs des radial inneren Randes des Heissgaspfades axiale Spalten vorhanden sind. Diese Spalten, die hier als «rinnenartige Hohlräume 150» bezeichnet sind, sind deshalb vorhanden, weil zwischen den umlaufenden Teilen, d. h. den Rotorscheufeln 66) und den stationären Teilen (d. h. den Statorschaufeln 68) ein Raum vorhanden sein muss. Wegen der Art und Weise, in der sich die Maschine erwärmt, unter verschiedenen Belastungsbedingungen arbeitet und wegen der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten einer der Komponenten, verändert sich im Allgemeinen die Breite des rinnenförmigen Hohlraums 150 (das heisst der axiale Abstand über den Spalt). Das bedeutet, dass der rinnenförmige Hohlraum 150, abhängig von der Betriebsweise der Maschine, sich verbreitern oder schrumpfen kann. Da es im hohen Masse unerwünscht ist, dass die umlaufenden Teile an stationären Teilen reiben, muss die Maschine so ausgelegt sein, dass unter allen Betriebsbedingungen wenigstens ein gewisser Raum an den Orten des rinnenförmigen Hohlraums 150 vorhanden ist. Dies führt allgemein zu einem rinnenförmigen Hohlraum 150, der unter einigen Betriebsbedingungen verhältnismässig schmal ist und unter anderen Betriebsbedingungen eine verhältnismässig breite Öffnung darstellt. Ein rinnenförmiger Hohlraum 150 mit einer verhältnismässig breiten Öffnung ist naturgemäss deshalb unerwünscht, weil er allgemein zu einem stärkeren Arbeitsfluideintritt, in den Turbinenradraum einlädt.

**[0049]** Es versteht sich, dass ein rinnenförmiger Hohlraum 150 allgemein an jeder Stelle längs der radial inneren Begrenzung des Heissgaspfades vorhanden ist, wo umlaufende Teile an stationäre Teile angrenzen. Demgemäss ist, wie dargestellt, ein rinnenförmiger Hohlraum 150 zwischen der Hinterkante der Rotorscheufel 66 und der Vorderkante der Statorschaufel 68 und zwischen der Hinterkante der Statorschaufel 68 und der Vorderkante der Rotorscheufel 66 vorhanden.

Typischerweise definiert bezüglich der Rotorschaukeln 66 der Schaft 136 einen Rand des rinnenförmigen Hohlraumes 150 während hinsichtlich der Statorschaukel 68 die innere Seitenwand 142 den anderen Rand des rinnenförmigen Hohlraums 150 definiert. Häufig kann ein Engelsflügelvorsprung oder ein Engelsflügel 152 auf dem Schaft 136 der Rotorschaukeln 64 ausgebildet sein. Jeder Engelsflügel 152 kann mit einem Statorvorsprung 154 zusammen wirken, der auf der jeweiligen Statorschaukel 68 ausgebildet ist. Der Statorvorsprung 154 kann entweder auf der inneren Seitenwand 142 oder, wie dargestellt, auf dem Zwischenboden 144 ausgebildet sein. Typischerweise ist der Engelsflügel 152, wie dargestellt, einwärts von dem Statorvorsprung 154 ausgebildet. Es können auch mehr als ein Engelsflügel 152-/ Statorvorsprung 154-Paar vorhanden sein. Allgemein gilt, dass einwärts des ersten Engelsflügels 152 der rinnenförmige Hohlraum 150 sozusagen in einen Radraum-Hohlraum 156 übergeht.

**[0050]** Wie bereits erwähnt, ist es erstrebenswert, ein Eindringen des Arbeitsfluids des Heissgaspfades in den rinnenförmigen Hohlraum 150 und den Radraum-Hohlraum 156 zu verhindern, weil die extremen Temperaturen die Komponenten in diesem Bereich beschädigen können. Der Engelsflügel 152 und der Statorvorsprung 154 sind so ausgebildet, dass sie den Eintritt begrenzen. Wegen der sich verändernden Breite der Öffnung des rinnenförmigen Hohlraums 150 und der relativen Unwirksamkeit des Engelsflügels 152/Statorvorsprungs 154 würde regelmässig Arbeitsfluid in den Radraum/Hohlraum 156 eintreten, wenn der Hohlraum nicht mit einer verhältnismässig grossen Menge von dem Verdichter abgezweigte Verdichteterluft gespült würde. Wie bereits erwähnt muss, da Spülluft die Leistung und den Wirkungsgrad der Maschine negativ beeinflusst, deren Verwendung, wenn immer möglich, verringert werden.

**[0051]** Die Fig. 11 und 12 veranschaulichen Wirbelvorsprünge 160, die gemäss Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung an einer Turbinenrotorschaukel 66 befestigt sein können. Bei dieser Gestaltung können die Wirbelvorsprünge 160 der Fig. 11, 12 auch dazu verwendet werden, einen Arbeitsmediumseintritt in den rinnenförmigen Hohlraum 150 zu drosseln und damit den Einsatz von Spülluft zu verringern. Im Allgemeinen kann der Wirbelvorsprung 160 des rinnenförmigen Hohlraums beliebige charakteristische Eigenschaften der im vorstehend erörterten beispielhaften Wirbelvorsprünge 112, 114 aufweisen, einschliesslich denen, dass er als eine dünne Rippe (wie in den Fig. 11, 12 dargestellt) gestaltet oder mit einem dickeren, kräftigen Körper ausgebildet ist (ähnlich der in Fig. 8 dargestellten Ausführungsform). Bei einigen Ausführungsformen können die Wirbelvorsprünge 160 des rinnenförmigen Hohlraums der Fig. 11, 12, wie dargestellt, in Formgestalt und installierter Orientierung gleich dem sein, was vorstehend zu dem stromabwärtigen Wirbelvorsprung 114 erläutert worden ist.

**[0052]** Bei Verwendung in dem rinnenförmigen Hohlraum 150 kann der Wirbelvorsprung 160 an dem Schaft 136 der Rotorschaukel 66 befestigt sein. Bei einigen bevorzugten Ausführungsformen kann der Wirbelvorsprung 160 des rinnenförmigen Hohlraums auf der Innenseite der Öffnung des rinnenförmigen Hohlraums 150 aber in der Nähe befestigt sein, wie dies in Fig. 11 dargestellt ist. Bei einer alternativen Ausführungsform kann der Wirbelvorsprung 110 des rinnenförmigen Hohlraums an einer Stelle befestigt sein, die einwärts von dem Engelsflügel 152 liegt. Bei einer bevorzugten Ausführungsform kann, wie in Fig. 12 dargestellt, der Wirbelvorsprung 160 an dem distalen Ende des Engelsflügels 152 befestigt sein.

**[0053]** Der Wirbelvorsprung 160 des rinnenförmigen Hohlraums kann an aussen liegenden Teilen des Schaftes 136 (d.h. ausserhalb des Engelsflügels 152), (wie in Fig. 11) oder des Engelsflügels 152 (wie in Fig. 12) längs einer Kante befestigt sein, ähnlich dem, was im Zusammenhang mit dem stromabwärtigen Wirbelvorsprung 114 der Fig. 6, 7 und 8 dargestellt und beschrieben worden ist. Diese eine Kante kann auch als eine innere Kante bezeichnet werden. Die verwundene Gestalt eines Wirbelvorsprungs 160 des rinnenförmigen Hohlraums kann, wie dargestellt, in der Weise geformt sein, dass, wie dargestellt, die hintere/äussere Ecke so gestaltet ist, dass sie sich in einer im Wesentlichen nach aussen gerichteten Richtung krümmt. Insbesondere kann die vordere Kante des Wirbelvorsprungs 160 des rinnenförmigen Hohlraums näherungsweise linear und rechtwinklig zu der Seite des Schaftes 136 sein, während die Hinterkante gekrümmt ist, wobei die hintere/äussere Ecke sich in einer im Wesentlichen auswärts gerichteten radialen Richtung biegt, ähnlich dem was für den stromabwärtigen Wirbelvorsprung 114 beschrieben worden ist. Diese Art der Ausbildung führt zu einer Vorderkante, die linear ist und zu einer Hinterkante, die bezüglich der Vorderkante näherungsweise im Gegenuhrzeigersinn (betrachtet aus einer Position hinter dem Schaft 136) verwunden ist.

**[0054]** Bei gebräuchlichen Turbinenmaschinen kann Arbeitsfluid durch den rinnenförmigen Hohlraum 150 in den Radraum-Hohlraum 156 eintreten. Wie erwähnt, kann dieser Eintritt durch die Verwendung eines Wirbelvorsprungs 160 für den rinnenförmigen Hohlraum verringert werden. Für den Fachmann versteht sich, dass die Umlaufbewegung der Rotorschaukeln und die Ausbildung und Platzierung des Wirbelvorsprungs 160 bewirken, dass sich ein Wirbelströmungsmuster entwickelt, das durch einen Pfeil 170 angedeutet ist. Insbesondere erzeugt die von dem Wirbelvorsprung 160 des rinnenförmigen Hohlraums induzierte Strömung, wie durch den Pfeil 170 angedeutet, allgemein eine spiralförmige Strömung, die sich bogenförmig nach aussen erstreckt und Arbeitsfluid, das sonst zu der Öffnung des rinnenförmigen Hohlraums 150 hin und in diesen hinein strömen würde, einen Widerstand entgegensetzt. Das bedeutet, dass das induzierte Wirbelströmungsmuster 170 sich so kräuselt, dass es allgemein wenigstens teilweise Arbeitsfluid entgegenwirkt, dass zu der Öffnung des rinnenförmigen Hohlraums 150 hinströmen will oder dass sie allgemein wenigstens teilweise Arbeitsfluid, das schon in dem rinnenförmigen Hohlraum 150 ist, daran hindert weiter vorzudringen.

**[0055]** Bezüglich des Wirbelvorsprungs 160 der Fig. 12 ist zu bemerken, dass in Anbetracht der Enge des rinnenförmigen Hohlraums 150 an dieser Stelle, und dem axialen Laufweg, der zwischen dem Engelsflügel 152 und dem Statorvorsprung 154 ausgebildet ist, dieser Ort für den Wirbelvorsprung 160 besonders wirksam sein kann, um einen Fluideintritt zu vermeiden. Wie durch einen Pfeil 171 angedeutet, kann der Wirbelvorsprung 160 in dieser Position ein Strudel- oder Wir-

belströmungsmuster erzeugen, das dem Fluideintritt entgegenwirkt und das das Ausströmen von Luft aus dem Radraum-Hohlraum zu dem rinnenförmigen Hohlraum 150 und/oder aus dem rinnenförmigen Hohlraum 150 zu dem Heissgasweg hin erleichtert und unterstützt. Dies erlaubt es, weniger Spülluft zu verwenden, wodurch die Maschinenleistung erhöht wird.

[0056] Für den Fachmann versteht sich, dass viele unterschiedliche Merkmale und Ausbildungen, die vorstehend im Zusammenhang mit den mehreren beispielhaften Ausführungsformen beschrieben worden sind, auch selektiv angewandt werden können, um andere mögliche Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung auszubilden. Der Kürze wegen und in Anbetracht der Kenntnisse eines Durchschnittsfachmanns ist nicht jede mögliche Zusammenstellung (iteration) hier im Detail erörtert, wenngleich alle von den mehreren nachfolgenden Patentansprüchen umfassten Kombinationen und möglichen Ausführungsformen einen Teil der vorliegenden Erfindung bilden sollen. Ausserdem ergeben sich für den Fachmann aus der vorstehenden Beschreibung verschiedene beispielhafte Ausführungsformen der Erfindung, Verbesserungen, Veränderungen und Abwandlungen. Solche Verbesserungen, Änderungen und Abwandlungen, die im Vermögen des Fachmanns liegen, sollen von den beigefügten Patentansprüchen ebenfalls abgedeckt sein. Ausserdem versteht sich, dass das Vorstehende sich lediglich auf die beschriebenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung bezieht und dass zahlreiche Veränderungen und Abwandlungen vorgenommen werden können, ohne den Rahmen der Anmeldung zu verlassen, wie er durch die nachfolgenden Patentansprüche und Äquivalente deren Gegenstände definiert ist.

### Patentansprüche

1. Turbinenmaschine (50), die einen Wirbelvorsprung (110) aufweist, der auf einer während des Betriebs der Turbinenmaschine (50) umlaufenden Komponente angeordnet ist, wobei der Wirbelvorsprung (110) eine äussere Oberfläche aufweist, die so gestaltet ist, dass sie bei der Umlaufbewegung der Komponente während des Betriebs ein Wirbelströmungsmuster erzeugt.
2. Turbinenmaschine (50) nach Anspruch 1, bei der:
  - der Wirbelvorsprung (110) so angeordnet ist, dass das induzierte Wirbelströmungsmuster die Leckströmung von Arbeitsfluid durch einen Spalt behindert;
  - der Wirbelvorsprung (110) entweder eine dünne Rippe und / oder einen dicken starren Körper aufweist;
  - der Wirbelvorsprung (110) einen nicht-achsymmetrischen Vorsprung aufweist; und
  - ein Profil der äusseren Oberfläche des Wirbelvorsprungs (110) eine im Wesentlichen sanft gekrümmte Kontur und eine näherungsweise teilschraubenartige Gestalt aufweist.
3. Turbinenmaschine (50) nach Anspruch 1, bei der:
  - der Wirbelvorsprung (110) eine dünne Rippe aufweist, die längs einer Achse verwunden ist; und
  - der Wirbelvorsprung (110) so angeordnet ist, dass die Verwindungsachse näherungsweise in Umfangsrichtung ausgerichtet ist.
4. Turbinenmaschine (50) nach Anspruch 3, bei der das Mass der Verwindung in einem Bereich von ungefähr 30 bis 60° liegt.
5. Turbinenmaschine (50) nach Anspruch 3, bei dem das Mass der Verwindung etwa 45° beträgt.
6. Turbinenmaschine (50) nach Anspruch 1, bei der:
  - die Turbinenmaschine (50) eine Rotorschaukel (60) aufweist:
  - die über einen Schaft(136), ein auf dem Schaft (136) angeordnetes Schaufelblatt (102), ein auf einem aussen liegenden radialen Ende des Schaufelblattes (102) angeordnetes Deckband (104), und über eine Dichtungsschiene (106) verfügt, die sich im Wesentlichen radial von dem Deckband (104) aus erstreckt;
  - der Wirbelvorsprung (110) an einer von der äusseren radialen Seite des Deckbandes (104) und der radial ausgerichteten Seite der Dichtungsschiene (106) befestigt ist;
  - der Wirbelvorsprung (110) derart angeordnet ist, dass das induzierte Wirbelströmungsmuster die Leckströmung von Arbeitsfluid von einer stromaufwärtigen Seite der Dichtungsschiene (106) zu einer stromabwärtigen Seite der Dichtungsschiene (106) hin behindert;
  - die Turbinenmaschine (50) wenigstens einen von einem stromaufwärtigen Wirbelvorsprung (112) und einem stromabwärtigen Wirbelvorsprung (114) aufweist;
  - der stromaufwärtige Wirbelvorsprung (112) einen Wirbelvorsprung (110) aufweist, der stromaufwärts der Dichtungsschiene (106) befestigt ist und eine Vorderkante (116), eine Innenkante (117), eine Hinterkante (118) und eine Ausenkante (119) aufweist, wobei der stromaufwärtige Wirbelvorsprung (112) wenigstens längs einer von der Vorderkante (116) und der Innenkante (117) befestigt ist, und bei dem die Hinterkante (118) bezüglich der Vorderkante (116) verwunden ist; und
  - der stromabwärtige Wirbelvorsprung (114) einen Wirbelvorsprung (110) aufweist, der stromabwärts der Dichtungsschiene (106) befestigt ist und eine Vorderkante (120), eine Innenkante (121), eine Hinterkante (122) und eine Ausenkante (123) aufweist, wobei der stromabwärtige Wirbelvorsprung (114) längs der Innenkante (121) befestigt ist und seine Hinterkante (122) bezüglich der Vorderkante (120) verwunden ist.

7. Turbinenmaschine (50) nach Anspruch 6, bei der der stromabwärtige Wirbelvorsprung (112) so ausgebildet und positioniert ist, dass das induzierte Wirbelströmungsmuster einem Arbeitsfluid einen Widerstand entgegensetzt, das sonst zwischen der Dichtungsschiene (106) und einer stationären Komponente zu einem Spalt hin fließen würde; der stromabwärtige Wirbelvorsprung (114) so gestaltet und positioniert ist, dass das induzierte Wirbelströmungsmuster einem Arbeitsfluid, das sonst durch den Spalt zwischen der Dichtungsschiene (106) und der stationären Komponente durchströmen würde, einen Widerstand entgegensetzt.
8. Turbinenmaschine (50) nach Anspruch 1, bei der:
  - die Turbinenmaschine (50) eine Rotorscheufel (66) aufweist, die über einen Schwalbenschwanz (132) verfügt, der die Rotorscheufel (66) an einem Rotorrad (134) befestigt, und zwischen dem Schaufelblatt (102) und dem Schwalbenschwanz (132) einen Schaft (136);
  - die Turbinenmaschine (50) eine Statorschaufel (68) aufweist;
  - ein rinnenförmiger Hohlraum (150) durch einen axialen Spalt zwischen der Rotorscheufel (66) und der Statorschaufel (68) definiert ist;
  - der Wirbelvorsprung (110) an der Rotorscheufel (66) so befestigt und ausgebildet ist, sowie auf dieser so positioniert ist, dass das induzierte Wirbelströmungsmuster das Einströmen von Arbeitsfluid in den rinnenförmigen Hohlraum (150) behindert.
9. Turbinenmaschine (50) nach Anspruch 8, bei der der Wirbelvorsprung (110) auf einer stromabwärtigen Fläche des Schafts (136) angeordnet ist.
10. Turbinenmaschine (50) nach Anspruch 8, bei der der Wirbelvorsprung (110) einwärts der Öffnung des rinnenförmigen Hohlraums (150) und in deren Nähe angeordnet ist.
11. Turbinenmaschine (50) nach Anspruch 8, bei der:
  - der Schaft (136) einen Engelsflügelvorsprung (152) aufweist; und
  - der Wirbelvorsprung (110) nahe dem distalen Ende des Engelsflügelvorsprungs (152) angeordnet ist.
12. Turbomaschine (50) nach Anspruch 8, bei der:
  - der Schaft (136) einen Engelsflügelvorsprung (152) aufweist; und
  - der Wirbelvorsprung (110) einwärts von dem Engelsflügelvorsprung (152) angeordnet ist.

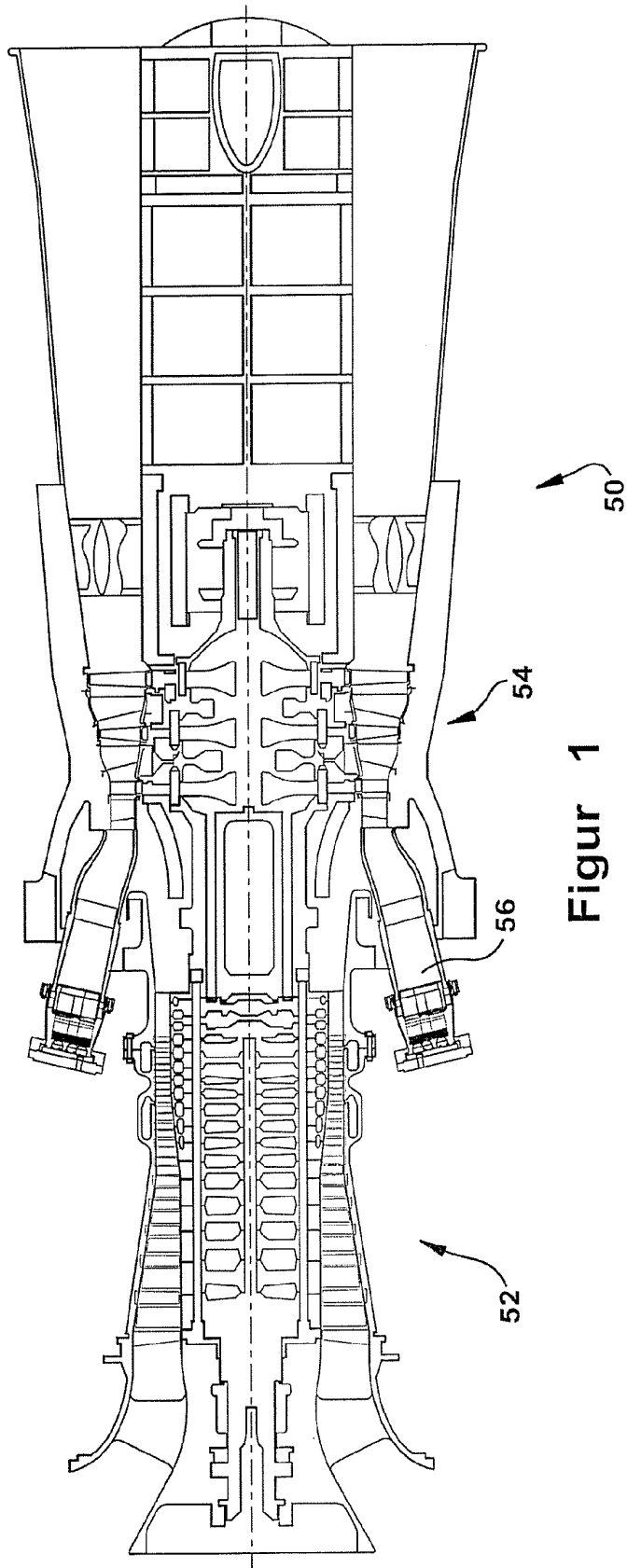


Figure 1

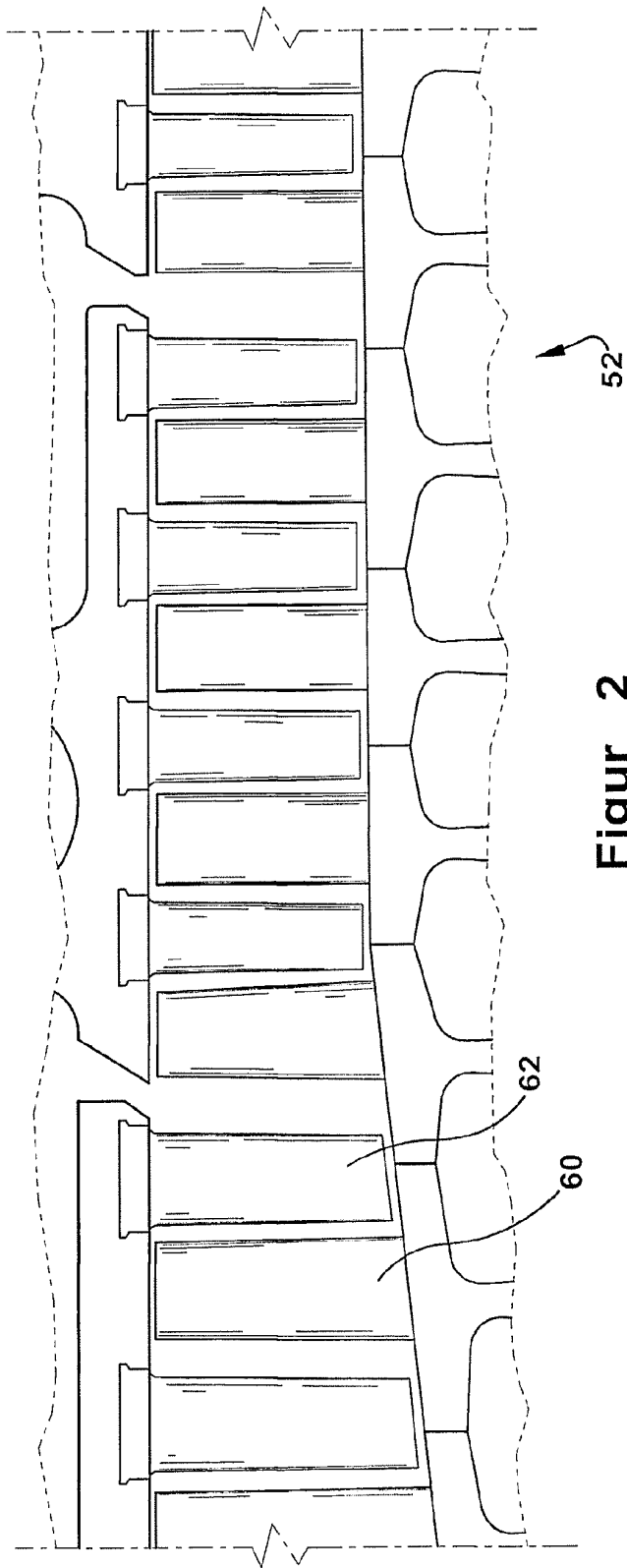


Figure 2

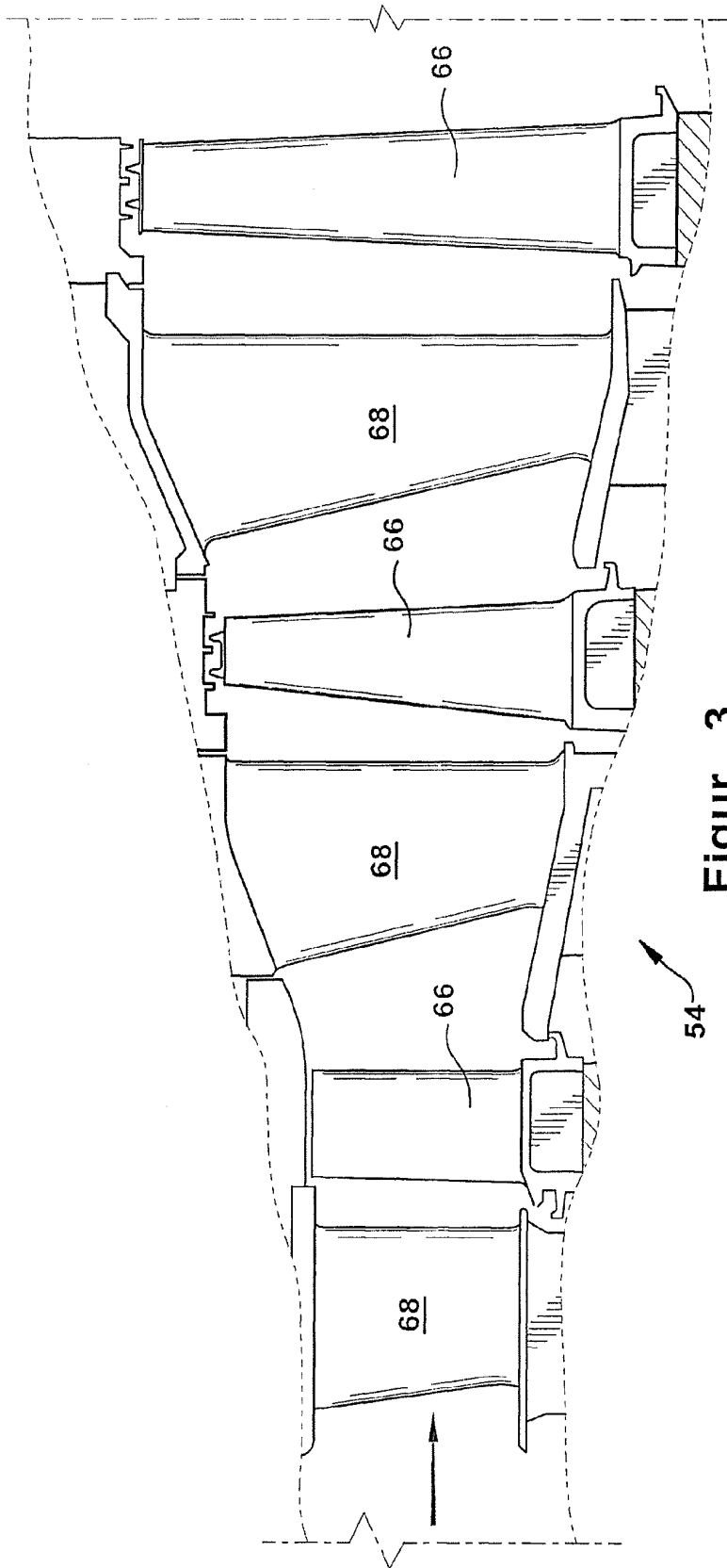
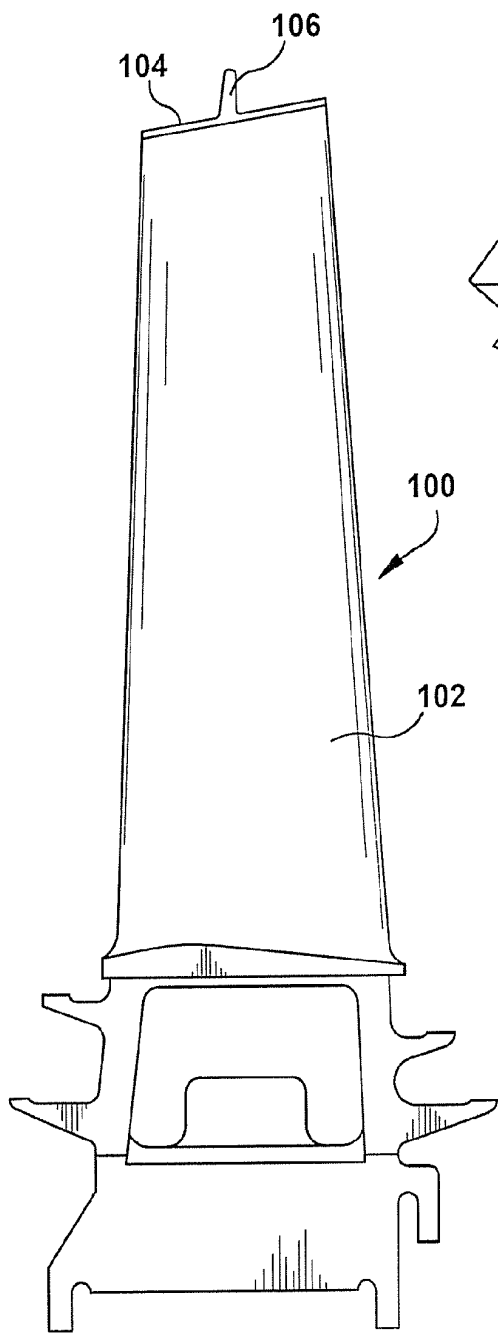
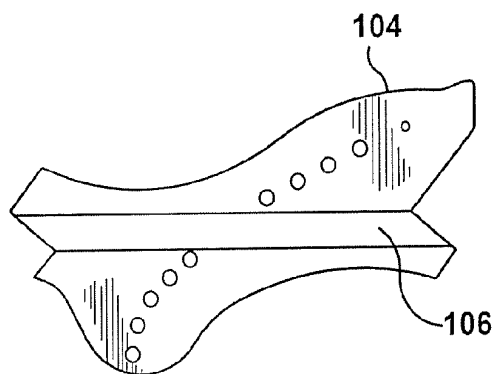


Figure 3



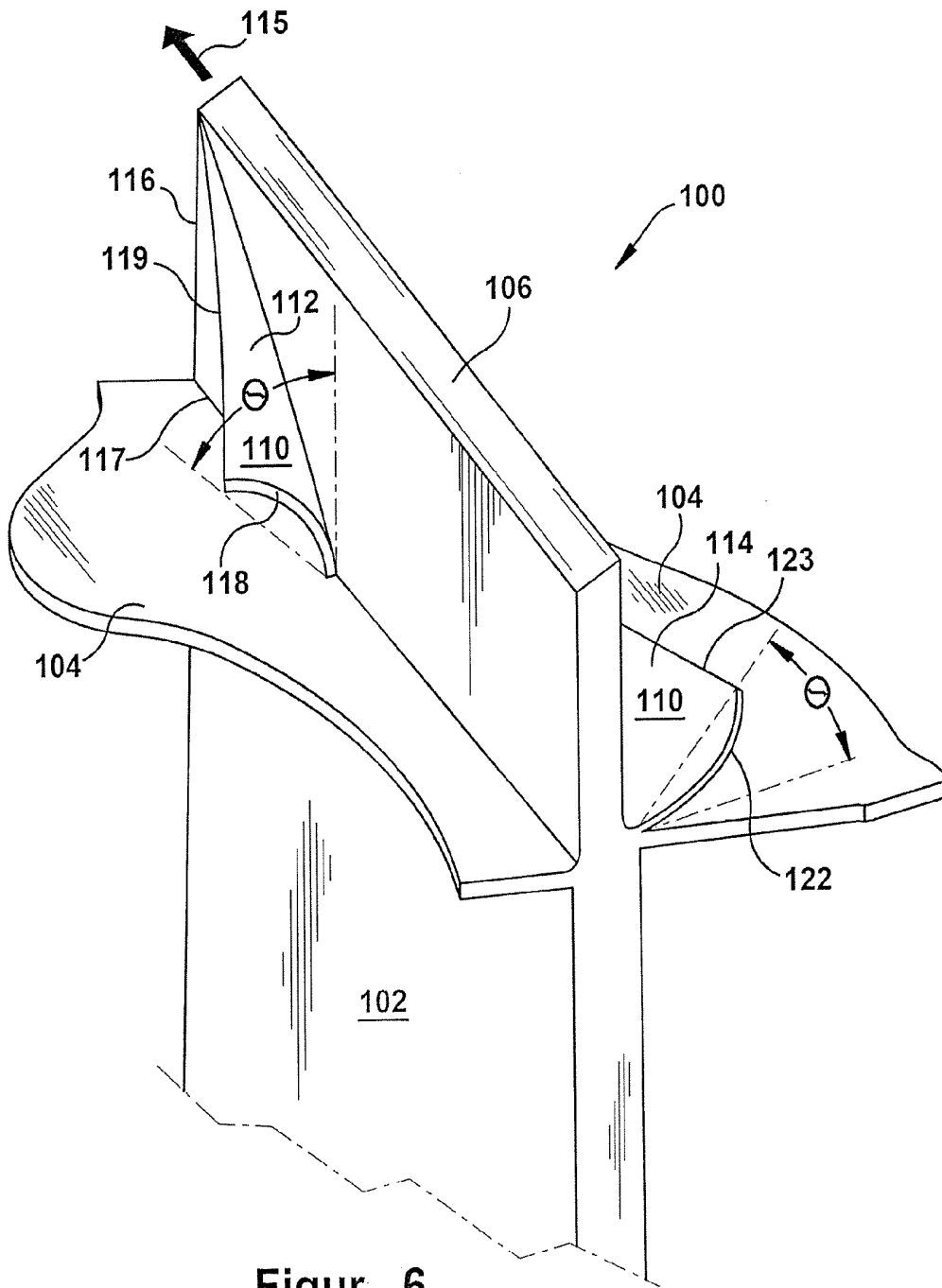
**Figur 4**

(Stand der Technik)

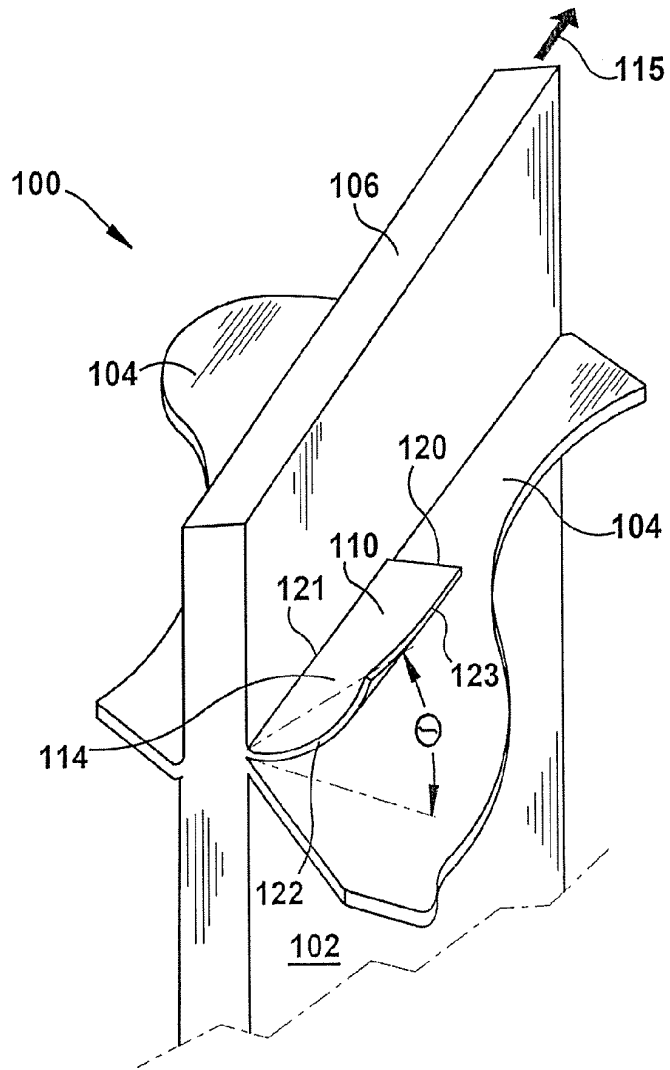


**Figur 5**

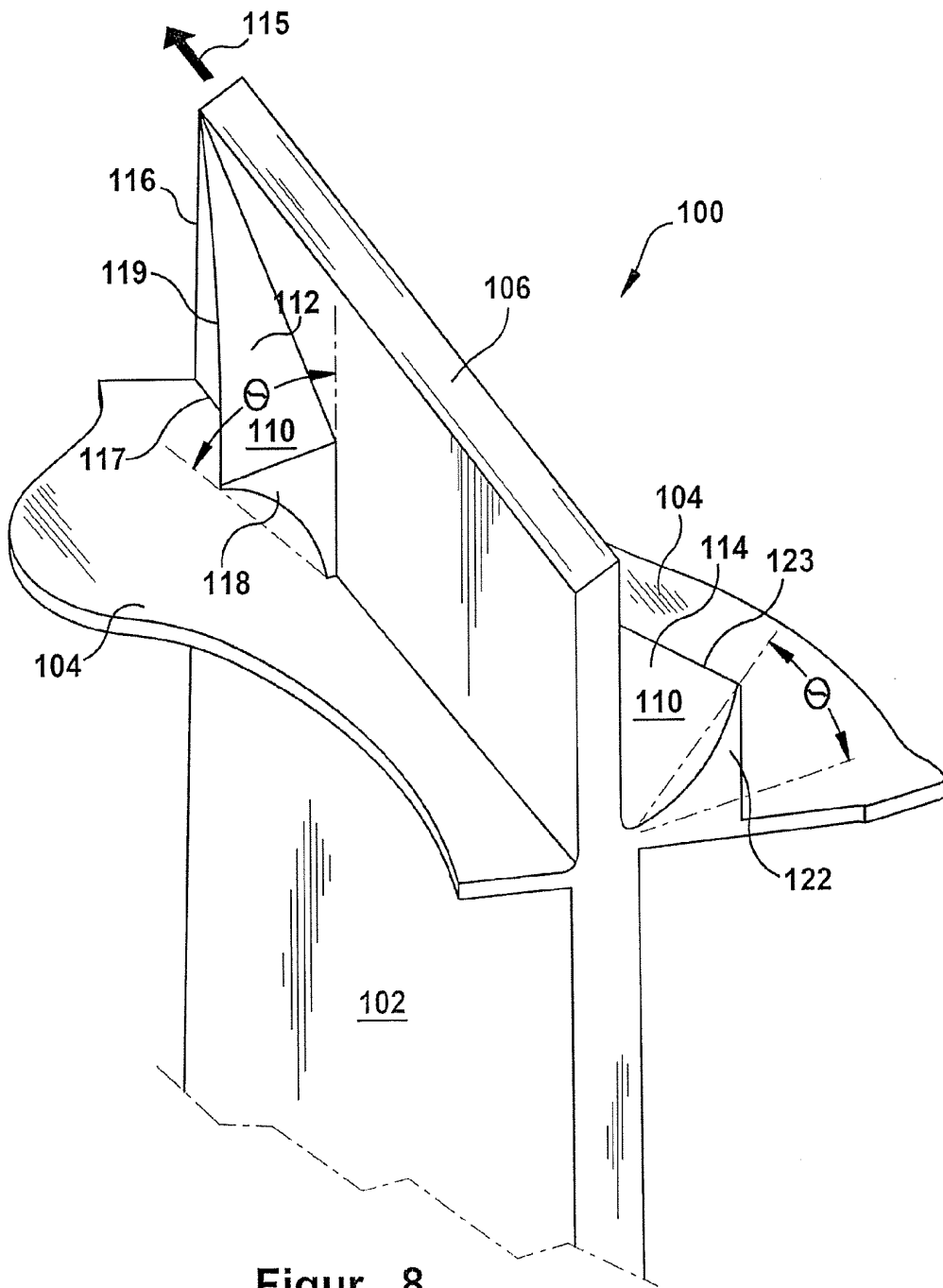
(Stand der Technik)



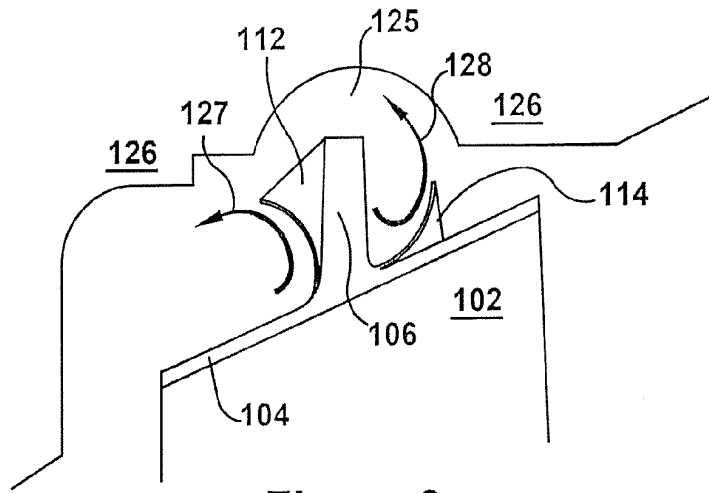
Figur 6



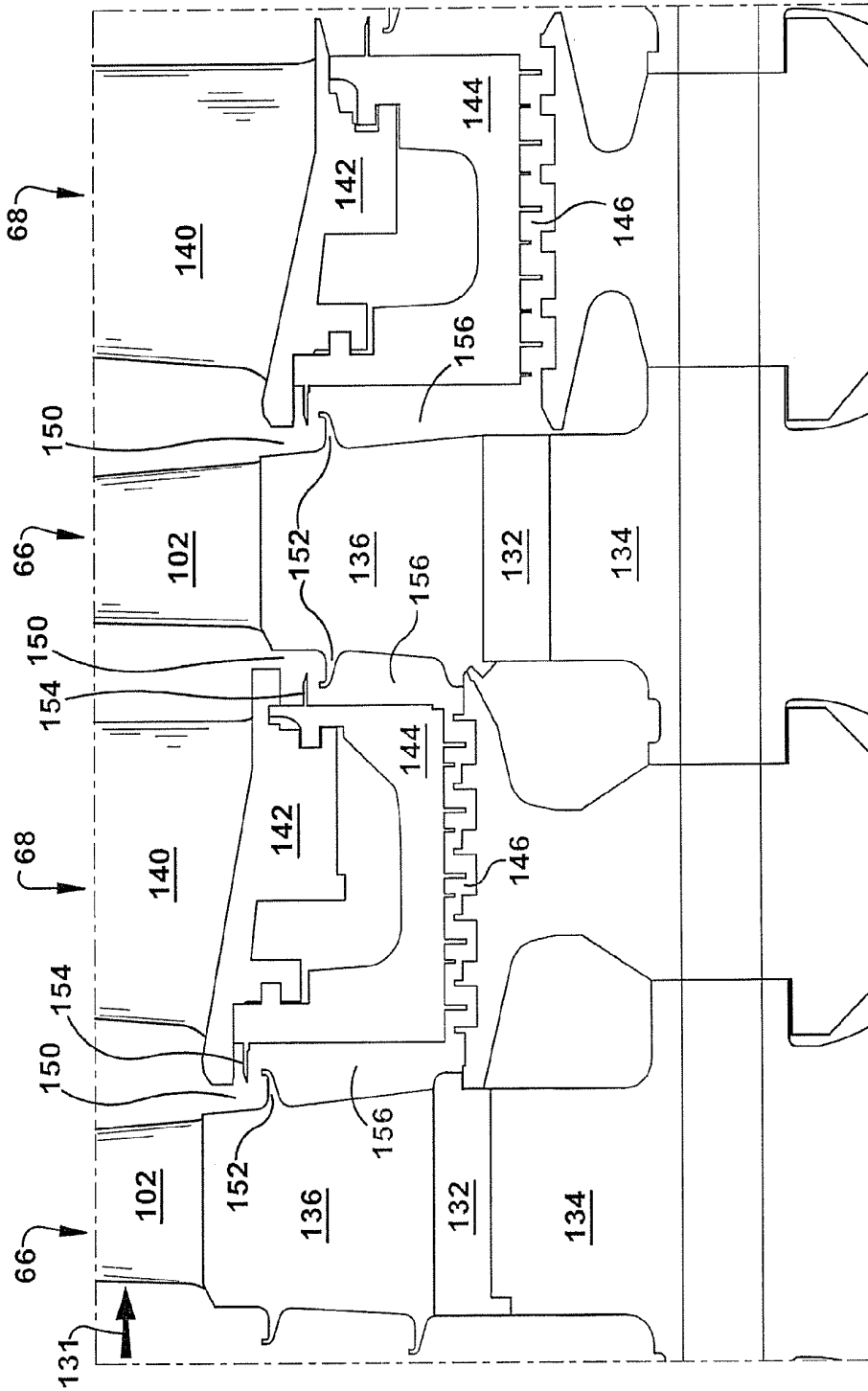
Figur 7



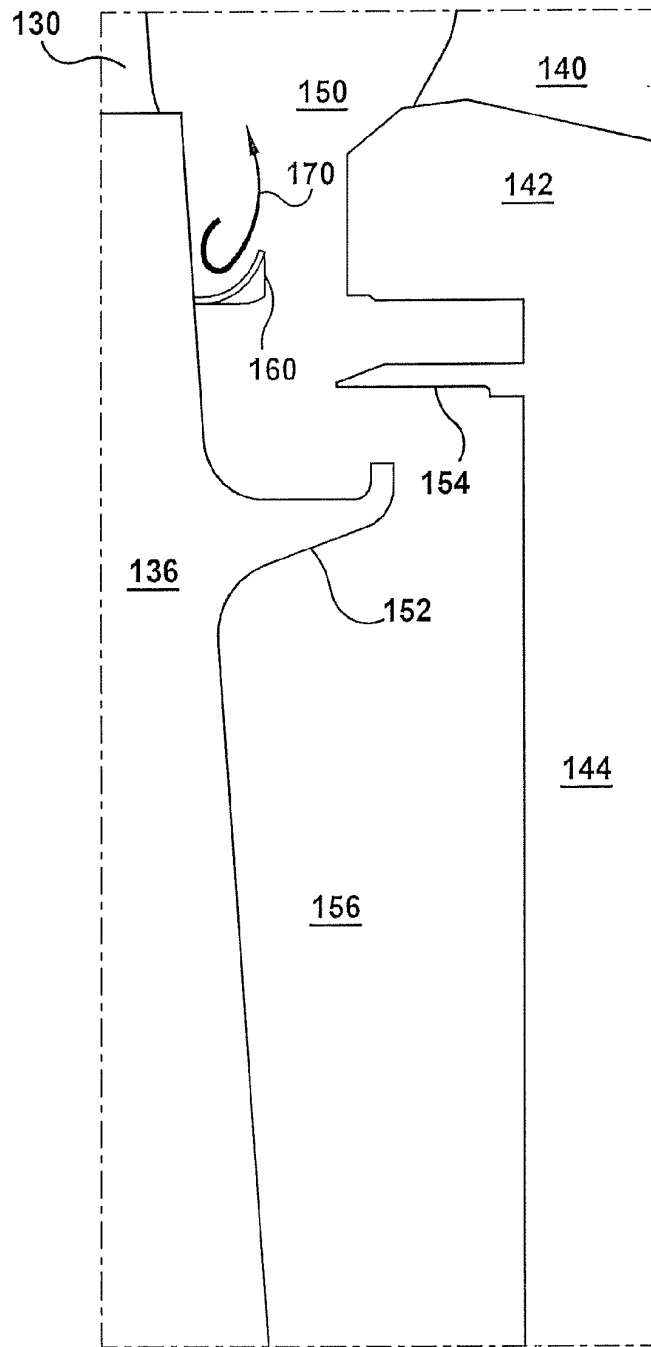
Figur 8



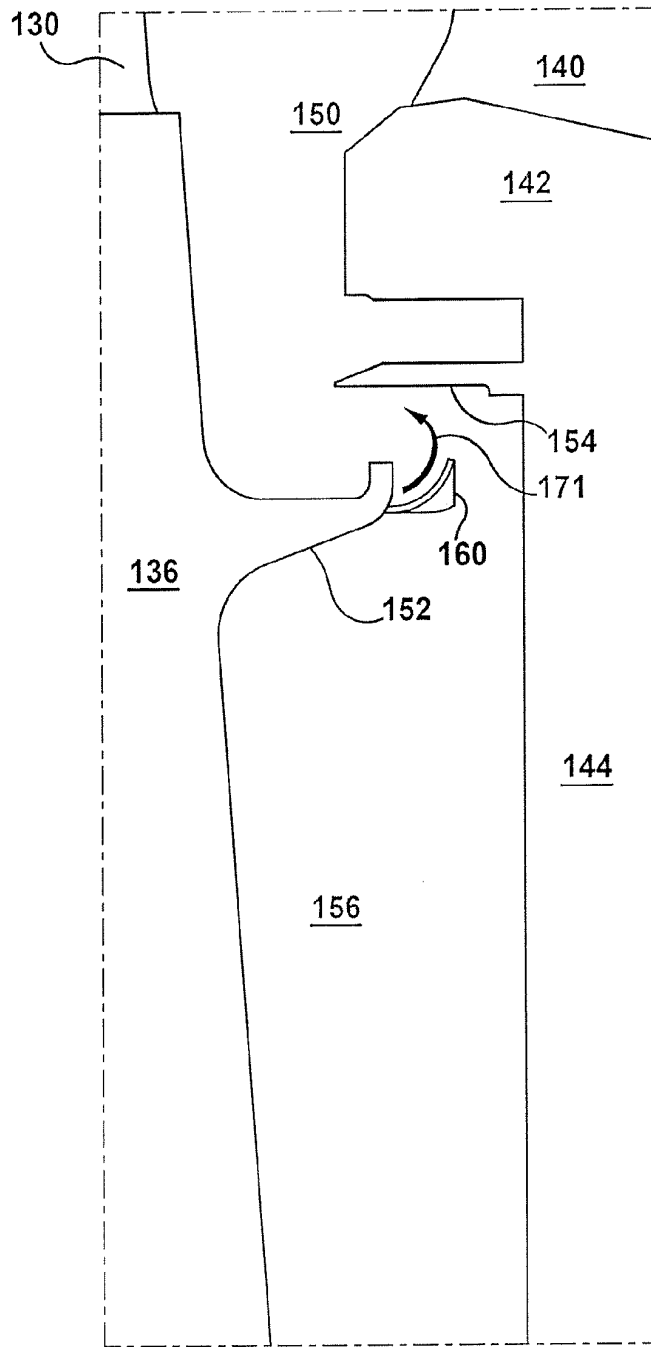
Figur 9



**Figur 10**  
(Stand der Technik)



Figur 11



Figur 12