



(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2014 119 418.7

(51) Int Cl.: **F01D 5/18 (2006.01)**

(22) Anmelddatag: 22.12.2014

(43) Offenlegungstag: 02.07.2015

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 22.05.2025

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**14/143,564** 30.12.2013 US

(72) Erfinder:  
**Wichmann, Lisa Anne, Atlanta, Ga., US; Smith, Aaron Ezekiel, Greenville, S.C., US**

(73) Patentinhaber:  
**General Electric Technology GmbH, Baden, CH**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

(74) Vertreter:  
**Rüger Abel Patentanwälte PartGmbB, 73728 Esslingen, DE**

US	7 985 049	B1
US	2009 / 0 317 258	A1
US	2010 / 0 254 824	A1
EP	1 496 203	A1
JP	2002- 242 607	A

(54) Bezeichnung: **Strukturelle Anordnungen und Kühlkreise in Turbinenschaufeln**

(57) Hauptanspruch: Turbinenschaufel mit einem Schaufelblatt (25), das von einer konkav geformten druckseitigen Außenwand (26) und einer konvex geformten saugseitigen Außenwand (27) definiert wird, die an Vorder- und Hinterkante (28, 29) entlang miteinander verbunden sind und dazwischen eine radial verlaufende Kammer zur Aufnahme eines Kühlmittelstroms bilden, wobei die Turbinenschaufel ferner Folgendes aufweist:

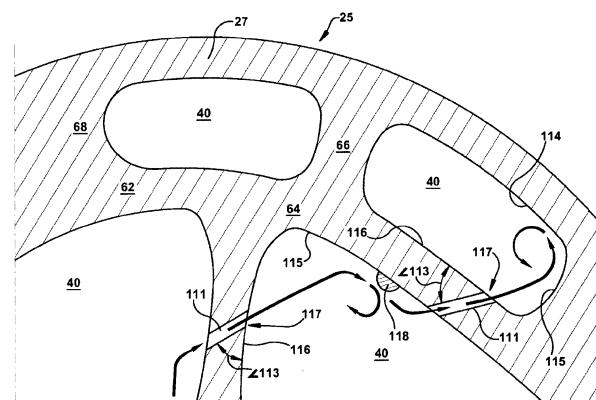
eine Rippenanordnung, die die Kammer in radial verlaufende Strömungsdurchgänge (40) unterteilt, die einen ersten Strömungsdurchgang und einen zweiten Strömungsdurchgang beinhalten, und

einen Verbindungs durchgang (111), der einen im ersten Strömungsdurchgang gebildeten Einlass mit einem im zweiten Strömungsdurchgang gebildeten Auslass (117) in Strömungsverbindung setzt,

wobei der Verbindungs durchgang (111) eine abgeschrägte Anordnung relativ zum zweiten Strömungsdurchgang aufweist,

wobei der zweite Strömungsdurchgang von radial verlaufenden Seiten definiert wird, die Folgendes beinhalten: eine erste Seite, in der der Auslass (117) des Verbindungs durchgangs (111) ausgebildet ist, und eine zweite Seite, auf die der Verbindungs durchgang (111) gerichtet ist;

wobei die erste und die zweite Seite aneinander angrenzende Seiten des zweiten Strömungsdurchgangs umfassen; wobei die erste Seite eine Skeletlinienrippe (62, 63, 64) umfasst und die zweite Seite eine Querrippe (66, 67, 68, 69) umfasst.



**Beschreibung****ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft Turbinenschaufelblätter und speziell hohle Turbinenschaufelblätter wie Lauf- oder Leitschaufeln, die innere Kanäle zum Hindurchleiten von Fluiden wie Luft zum Kühlen der Schaufelblätter haben.

**[0002]** Verbrennungs- oder Gasturbinenmaschinen (im Folgenden „Gasturbinen“) weisen einen Verdichter, eine Brennkammer und eine Turbine auf. Bekanntermaßen wird im Verdichter verdichtete Luft mit Brennstoff vermischt und in der Brennkammer entzündet und dann zur Krafterzeugung durch die Turbine ausgedehnt. Die Bauteile innerhalb der Turbine, speziell die sich in Umfangsrichtung erstreckend angeordneten Lauf- und Leitschaufeln, sind einer widrigen Umgebung ausgesetzt, die durch die extrem hohen Temperaturen und Drücke der Verbrennungsprodukte gekennzeichnet ist, die durch sie ausgedehnt werden. Um den sich wiederholenden Wärmezyklen sowie den extremen Temperaturen und mechanischen Belastungen dieser Umgebung standzuhalten, müssen die Schaufelblätter eine robuste Struktur haben und aktiv gekühlt werden.

**[0003]** Wie zu erkennen ist, enthalten Lauf- und Leitschaufeln von Turbinen oft innere Gänge oder Kreise, die ein Kühlungssystem bilden, durch das ein Kühlmittel, gewöhnlich aus dem Verdichter abgezapfte Luft, geleitet wird. Derartige Kühlkreise werden gewöhnlich von inneren Rippen gebildet, welche die erforderliche strukturelle Unterstützung für das Schaufelblatt bereitstellen, und beinhalten mehrere Strömungswege, die dafür ausgelegt sind, das Schaufelblatt innerhalb eines akzeptablen Temperaturprofils zu halten. Die durch diese Kühlkreise hindurchströmende Luft wird oft durch Filmkühlungsöffnungen abgelassen, die an der Vorderkante, der Hinterkante, der Saugseite und der Druckseite des Schaufelblatts ausgebildet sind.

**[0004]** Erkennbar nimmt der Wirkungsgrad von Gasturbinen mit steigenden Zündtemperaturen zu. Aufgrund dessen besteht ein ständiger Bedarf an technologischen Fortschritten, die es Turbinenschaufeln ermöglichen, immer noch höheren Temperaturen standzuhalten. Diese Fortschritte beinhalten manchmal neue Werkstoffe, die höheren Temperaturen standhalten können, genauso oft beinhalten sie aber das Verbessern der Innenanordnung des Schaufelblatts, um die Konstruktion und Kühlleistung der Schaufel zu verbessern. Da die Verwendung von Kühlmittel aber den Wirkungsgrad der Maschine verringert, tauschen neue Anordnungen, die sich zu stark auf höhere Kühlmittelverbrauchspegel verlassen, lediglich eine Leistungsschwäche gegen eine

andere ein. Infolgedessen besteht weiterhin ein Bedarf an neuen Schaufelblattkonstruktionen, die innere Schaufelblattgestaltungen und eine Kühlmitteleinführung bieten, welche den Kühlmittelwirkungsgrad verbessern.

**[0005]** Ein Faktor, der die Konstruktion von innengekühlten Schaufelblättern noch komplizierter macht, ist der Temperaturunterschied, der sich während des Betriebs zwischen der Innen- und Außenstruktur der Schaufelblätter entwickelt. Das heißt, weil sie mit dem Heißgasweg in Kontakt sind, liegen die Außenwände des Schaufelblatts während des Betriebs gewöhnlich auf viel höheren Temperaturen als viele der inneren Rippen, in denen z.B. Kühlmittel durch Gänge strömt, die an jeder Seite von ihnen definiert sind. Tatsächlich beinhaltet eine übliche Schaufelblattgestaltung eine „vierwandige“ Anordnung, in der längere Innenrippen parallel zu den druck- und saugseitigen Außenwänden verlaufen. Es ist bekannt, dass sich durch die wandnahen Strömungsdurchgänge, die in der vierwandigen Anordnung ausgebildet sind, eine hohe Kühlleistung erreichen lässt, die Außenwände aber einen bedeutend höheren Grad an Wärmeausdehnung erfahren als die Innenwände. Diese unausgeglichene Ausdehnung verursacht die Entwicklung von Belastungen an den Verbindungs punkten der Innenrippen und Außenwände, die eine Kurzzeitermüdung verursachen können, die die Lebensdauer der Schaufel verkürzen kann. Von daher bleibt die Entwicklung von Schaufelblattkonstruktionen, die Kühlmittel effizienter nutzen, während sie gleichzeitig durch unausgeglichene Wärmeausdehnung zwischen den inneren und äußeren Regionen verursachte Belastungen reduzieren, eine bedeutende technologische Aufgabe für die Industrie.

**[0006]** US 7,985,049 B1 beschreibt eine Turbinenschaufel für den Einsatz in einem Gasturbinentriebwerk mit einer in der Turbinenschaufel untergebrachten Innenkühlkreislauf. Der Innenkühlkreislauf weist einen Vorderkantenkühlversorgungsholraum und einen Hinterkantenkühlversorgungsholraum auf. Beide Kühlversorgungshöhlräume sind über Prallöffnungen mit Prallkühlholräumen fluidisch verbunden. US 2010/0254824 A1 offenbart außerdem eine Prallkühlanordnung für eine Turbinenschaufel. Die Turbinenschaufel weist einen Kühlraum, einen ersten Prallkühlraum und einen zweiten Prallkühlraum auf, die über Prallluftkanäle mit dem Kühlraum verbunden sind. US 2009/0317258 A1 beschreibt zudem ein Schaufelblatt für ein Gasturbinentriebwerk mit einem Kanal, der teilweise durch eine Trennwand begrenzt ist. Das Schaufelblatt weist außerdem eine im Inneren des Schaufelblatts definierte Kammer mit einer Kammerwand auf, in der eine Vielzahl von Zuführöffnungen definiert ist. Die Zuführöffnungen sind derart geformt, dass ein Eintrittsbereich elliptisch ist, während ein Austrittsbe-

reich kreisförmig ist. JP 2002/242607 A1 beschreibt eine Gasturbinenschaufel mit einer Kühlstruktur. Die Gasturbinenschaufel weist einen Hohlraum als erster Kühlbereich mit einem Kühlströmungskanal, in den eine Vielzahl von Kühllöchern geformt sind.

#### KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0007]** Die Aufgabe der Erfindung ist durch die Turbinenschaufel mit einem Schaufelblatt gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Die erfindungsgemäße Turbinenschaufel mit einem Schaufelblatt wird von einer konkav geformten druckseitigen Außenwand und einer konvex geformten saugseitigen Außenwand definiert, die an Vorder- und Hinterkante entlang miteinander verbunden sind und dazwischen eine radial verlaufende Kammer zur Aufnahme eines Kühlmittelstroms bilden. Die Turbinenschaufel behinhaltet ferner Folgendes: eine Rippenanordnung, die die Kammer in radial verlaufende Strömungsdurchgänge unterteilt, die einen ersten Strömungsdurchgang und einen zweiten Strömungsdurchgang beinhalten, und einen Verbindungs durchgang, der einen im ersten Strömungsdurchgang gebildeten Einlass mit einem im zweiten Strömungsdurchgang gebildeten Auslass in Strömungsverbindung setzt. Der Verbindungs durchgang kann eine abgeschrägte Anordnung relativ zum zweiten Strömungsdurchgang beinhalten. Der zweite Strömungsdurchgang wird von radial verlaufenden Seiten definiert, die Folgendes beinhalten: eine erste Seite, in der der Auslass des Verbindungs durchgangs ausgebildet ist, und eine zweite Seite, auf die der Verbindungs durchgang gerichtet ist. Die erste und die zweite Seite umfassen aneinander angrenzende Seiten des zweiten Strömungsdurchgangs. Die erste Seite umfasst eine Skelettliniensrippe und die zweite Seite eine Querrippe. In gewissen Ausführungsformen kann der Verbindungs durchgang linear sein und so angeordnet sein, dass er mit einer den Auslass umgebenden Oberfläche einen spitzen Winkel von wenigstens 20 Grad bildet. Der zweite Strömungsdurchgang kann von radial verlaufenden Seiten definiert werden, die Folgendes beinhalten: eine erste Seite, in welcher der Auslass des Verbindungs durchgangs ausgebildet ist, und eine zweite Seite, auf die der Verbindungs durchgang gerichtet ist. Die zweite Seite kann einen Turbulenzerzeuger beinhalten.

**[0008]** Die abgeschrägte Anordnung kann eine umfassen, bei der eine Mittelachse des Verbindungs durchgangs relativ zu einer Richtung abgewinkelt ist, die zu einer den Auslass des Verbindungs durchgangs umgebenden Oberfläche lotrecht ist.

**[0009]** Die abgeschrägte Anordnung kann eine umfassen, bei der die Mittelachse des Verbindungs durchgangs und die Richtung, die zur den Auslass

umgebenden Oberfläche lotrecht ist, einen spitzen Winkel bilden, der größer als 20 Grad ist.

**[0010]** Der Verbindungs durchgang einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann etwa linear sein, wobei die abgeschrägte Anordnung eine umfasst, bei der der Verbindungs durchgang relativ zu einer den Auslass des Verbindungs durchgangs umgebenden Oberfläche abgewinkelt ist.

**[0011]** Die abgeschrägte Anordnung einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine umfassen, bei der der Verbindungs durchgang und die den Auslass des Verbindungs durchgangs umgebende Oberfläche einen Winkel bilden, der kleiner als 70 Grad ist.

**[0012]** Die abgeschrägte Anordnung einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine umfassen, bei der der Verbindungs durchgang und die den Auslass des Verbindungs durchgangs umgebende Oberfläche einen Winkel bilden, der kleiner als 50 Grad ist.

**[0013]** Die abgeschrägte Anordnung einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine umfassen, bei der der Verbindungs durchgang tangential zu einer Mittelachse des zweiten Strömungsdurchgangs gerichtet ist, wobei der Verbindungs durchgang gekrümmmt ist.

**[0014]** Die abgeschrägte Anordnung des Verbindungs durchgangs einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine radiale Neigung umfassen.

**[0015]** Die radiale Neigung der abgeschrägten Anordnung einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann einen Winkel von wenigstens 20 Grad umfassen.

**[0016]** Der Verbindungs durchgang einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann ein gekrümmtes Profil umfassen.

**[0017]** Der zweite Strömungsdurchgang einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann von radial verlaufenden Seiten definiert werden, die Folgendes beinhalten: eine erste Seite, in der der Auslass des Verbindungs durchgangs ausgebildet ist, und eine zweite Seite, auf die der Verbindungs durchgang gerichtet ist.

**[0018]** Die erste und die zweite Seite einer oben erwähnten Turbinenschaufel können einander gegenüberliegende Seiten des zweiten Strömungsdurchgangs umfassen.

**[0019]** Die erste und die zweite Seite einer oben erwähnten Turbinenschaufel können aneinander

angrenzende Seiten des zweiten Strömungsdurchgangs umfassen.

**[0020]** Der zweite Strömungsdurchgang einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine dritte Seite beinhalten, die der zweiten Seite gegenüberliegt und an die erste Seite angrenzt, wobei der Auslass eine Position an der ersten Seite aufweist, die näher an der zweiten Seite als der dritten Seite ist, und wobei der Verbindungs durchgang ein gekrümmtes Profil aufweist, bei dem die Krümmung zur ersten Seite ist.

**[0021]** Die zweite Seite einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann einen Turbulenzerzeuger aufweisen, wobei der Turbulenzerzeuger einen etwa radial ausgerichteten länglichen Vorsprung mit steilen Seiten umfasst.

**[0022]** Die erste Seite und die zweite Seite einer oben erwähnten Turbinenschaufel können jeweils eine der Folgenden umfassen: eine druckseitige Außenwand, eine saugseitige Außenwand und eine Skelettliniensrippe.

**[0023]** Die erste Seite einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine Skelettliniensrippe umfassen und die zweite Seite umfasst eine Querrippe.

**[0024]** Die erste Seite einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine Querrippe umfassen und die zweite Seite umfasst eine Skelettliniensrippe.

**[0025]** Die erste Seite oder die zweite Seite einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann ein Segment einer Skelettliniensrippe umfassen, das ein welliges Profil hat, und wobei das wellige Profil eines beinhaltet, das wenigstens eine hin- und hergehende „S“-Form hat, wobei die Turbinenschaufel eine Turbinenlaufschaufel umfasst und wobei der Verbindungs durchgang eine schmale Anordnung umfasst, die zum Aufprallenlassen eines Stroms von unter Druck stehendem Kühlmittel durch sie hindurch gestaltet ist.

**[0026]** Ein weiterer Aspekt ist eine Turbinenschaufel, die ein Schaufelblatt aufweist, das von einer konkav geformten druckseitigen Außenwand und einer konvex geformten saugseitigen Außenwand definiert wird, die an Vorder- und Hinterkante entlang miteinander verbunden sind und dazwischen eine radial verlaufende Kammer zur Aufnahme eines Kühlmittelstroms bilden, wobei die Turbinenschaufel ferner Folgendes umfasst: eine Rippenanordnung, die die Kammer in radial verlaufende Strömungsdurchgänge unterteilt, die einen ersten Strömungsdurchgang und einen zweiten Strömungsdurchgang beinhalten, einen Verbindungs durchgang, der einen im ersten Strömungsdurchgang gebildeten Einlass mit einem im zweiten Strömungsdurchgang gebildeten

Auslass in Strömungsverbindung setzt, wobei der Verbindungs durchgang linear ist und so angeordnet ist, dass er mit einer den Auslass umgebenden Oberfläche einen spitzen Winkel von wenigstens 20 Grad bildet, wobei der zweite Strömungsdurchgang von radial verlaufenden Seiten definiert wird, die Folgenden beinhalten: eine erste Seite, in welcher der Auslass des Verbindungs gangs ausgebildet ist, und eine zweite Seite, auf die der Verbindungs durchgang gerichtet ist, und wobei die zweite Seite einen Turbulenzerzeuger beinhaltet.

**[0027]** Diese und andere Merkmale der vorliegenden Anmeldung werden bei der Prüfung der folgenden ausführlichen Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen, wenn in Verbindung mit den Zeichnungen und den angehängten Ansprüchen betrachtet, offensichtlich.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0028]** Diese und andere Merkmale dieser Erfindung werden beim sorgfältigen Studium der folgenden ausführlicheren Beschreibung von beispielhaften Ausführungsformen der Erfindung in Verbindung mit den Begleitzzeichnungen umfassender verstanden und erfasst werden, wobei:

**Fig. 1** eine schematische Darstellung einer beispielhaften Turbinenmaschine ist, in der gewisse Ausführungsformen der vorliegenden Anmeldung genutzt werden können,

**Fig. 2** eine Schnittansicht des Verdichterabschnitts der Verbrennungsturbinenmaschine von **Fig. 1** ist,

**Fig. 3** eine Schnittansicht des Turbinenabschnitts der Verbrennungsturbinenmaschine von **Fig. 1** ist,

**Fig. 4** eine perspektivische Ansicht einer Turbinenlaufschaufel des Typs ist, in der Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden können,

**Fig. 5** eine Querschnittsansicht einer Turbinenlaufschaufel ist, die eine Innenwand- oder Rippenanordnung gemäß einer konventionellen Konstruktion hat,

**Fig. 6** eine Querschnittsansicht einer Turbinenlaufschaufel ist, die eine Innenwandanordnung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung hat,

**Fig. 7** eine Querschnittsansicht der Saugseite einer Turbinenlaufschaufel ist, die eine Innenwandanordnung und Strömungsdurchgangsverbindung gemäß gewissen Aspekten der vorliegenden Erfindung hat,

**Fig. 8** eine Querschnittsansicht der Druckseite einer Turbinenlaufschaufel ist, die eine Innen-

wandanordnung und Strömungsdurchgangsverbindung gemäß gewissen Aspekten der vorliegenden Erfindung hat, und

**Fig. 9** eine Querschnittsansicht einer Außenwand eines Schaufelblatts gemäß einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0029]** Eingehend wird es zur klaren Beschreibung der aktuellen Erfindung notwendig, bei der Bezugnahme auf und der Beschreibung von relevante(n) Maschinenbauteile(n) innerhalb einer Gasturbine eine gewisse Terminologie zu wählen. Dabei wird möglichst immer übliche Industrieterminologie auf eine Weise verwendet und eingesetzt, die mit ihrer akzeptierten Bedeutung übereinstimmt. Sofern nicht anders angegeben, ist derartige Terminologie in Übereinstimmung mit dem Zusammenhang der vorliegenden Anmeldung und dem Umfang der angehängten Ansprüche weit auszulegen. Der Durchschnittsfachmann wird erkennen, dass ein spezielles Bauteil oft unter Verwendung mehrerer verschiedener oder überlappender Begriffe bezeichnet werden kann. Was hierin als einzelnes Bauteil beschrieben werden kann, kann in einem anderen Zusammenhang mehrere Bauteile beinhalten und als aus mehreren Bauteilen bestehend bezeichnet werden. Alternativ kann das, was hierin als mehrere Bauteile beinhaltend beschrieben wird, an anderer Stelle als ein Einzelteil bezeichnet werden. Dementsprechend ist beim Verstehen des Umfangs der vorliegenden Erfindung nicht nur die hierin vorgesehene Terminologie und Beschreibung zu beachten, sondern auch die Struktur, Anordnung, Funktion und/oder Nutzung des Bauteils.

**[0030]** Hierin können außerdem regelmäßig mehrere beschreibende Begriffe verwendet werden und es sollte sich als nützlich erweisen, diese Begriffe zu Beginn dieses Abschnitts zu definieren. Diese Begriffe und ihre Definitionen, sofern nicht anders angegeben, sind wie folgt. „Stromabwärts“ und „stromaufwärts“, wie hierin verwendet, sind Begriffe, die eine Richtung relativ zur Strömung eines Fluids andeuten, wie des Arbeitsfluids durch die Turbinemaschine oder zum Beispiel der Luftstrom durch die Brennkammer oder von Kühlmittel durch eines der Bauteilsysteme der Turbine. Der Begriff „stromabwärts“ entspricht der Fluidströmungsrichtung und der Begriff „stromaufwärts“ bezieht sich auf die Richtung, die der Strömung entgegengesetzt ist. Die Begriffe „vorn“ und „hinten“ ohne weitere Spezifität beziehen sich auf Richtungen, wobei „vorn“ sich auf das vordere oder Verdichterende der Maschine und „hinten“ sich auf das hintere oder Turbinenende der Maschine bezieht. Oft müssen Teile beschrieben werden, die sich in Bezug auf eine Mittelachse an

verschiedenen radialen Positionen befinden. Der Begriff „radial“ bezieht sich auf eine zu einer Achse lotrechte Bewegung oder Position. In Fällen wie diesem wird, wenn ein erstes Bauteil näher an der Achse liegt als ein zweites Bauteil, hierin angegeben, dass das erste Bauteil vom zweiten Bauteil „radial einwärts“ oder „innenliegend“ ist. Wenn dagegen das erste Bauteil weiter von der Achse entfernt ist als das zweite Bauteil, kann hierin angegeben werden, dass das erste Bauteil vom zweiten Bauteil „radial auswärts“ oder „außenliegend“ ist. Der Begriff „axial“ bezieht sich auf eine zu einer Achse parallele Bewegung oder Position. Und schließlich bezieht sich der Begriff „in Umfangsrichtung“ auf eine Bewegung oder Position um eine Achse. Es ist zu erkennen, dass derartige Begriffe in Bezug auf die Mittelachse der Turbine angewendet werden können.

**[0031]** Als Hintergrund, jetzt Bezug nehmend auf die Figuren, veranschaulichen die **Fig. 1** bis **4** eine beispielhafte Verbrennungsturbinemaschine, die in den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann. Der Fachmann versteht, dass die vorliegende Erfindung nicht auf diesen speziellen Nutzungstyp beschränkt ist. Die vorliegende Erfindung kann in Verbrennungsturbinemaschinen verwendet werden, wie jenen, die in der Stromerzeugung, in Flugzeugen sowie in anderen Maschinentyphen verwendet werden. Sofern nicht anders angegeben, ist nicht vorgesehen, dass die bereitgestellten Beispiele beschränkend sind.

**[0032]** **Fig. 1** ist eine schematische Darstellung einer Verbrennungsturbinemaschine 10. Im Allgemeinen funktionieren Verbrennungsturbinemaschinen, indem sie einem druckbeaufschlagten Heißgasstrom, der durch die Verbrennung eines Brennstoffs in einem Strom verdichteter Luft erzeugt wird, Energie entnehmen. Wie in **Fig. 1** gezeigt, kann die Verbrennungsturbinemaschine 10 mit einem Axialverdichter 11, der durch eine gemeinsame Welle oder einen gemeinsamen Läufer mechanisch mit einem oder einer stromabwärtsigen Turbinenabschnitt oder Turbine 13 gekoppelt ist, und einer zwischen dem Verdichter 11 und der Turbine 13 positionierten Brennkammer 12 ausgestaltet sein.

**[0033]** **Fig. 2** veranschaulicht eine Ansicht eines beispielhaften mehrstufigen Axialverdichters 11, der in der Verbrennungsturbinemaschine von **Fig. 1** verwendet werden kann. Wie gezeigt, kann der Verdichter 11 mehrere Stufen beinhalten. Jede Stufe kann eine Reihe von Verdichterlaufschaufeln 14 gefolgt von einer Reihe von Verdichterleitschaufeln 15 beinhalten. Daher kann eine erste Stufe eine Reihe von Verdichterlaufschaufeln 14 beinhalten, die sich um eine mittlere Welle drehen, gefolgt von einer Reihe von Verdichterleitschaufeln 15, die während des Betriebs unbeweglich bleiben.

**[0034]** **Fig. 3** veranschaulicht eine Teilansicht eines bzw. einer beispielhaften Turbinenabschnitts oder Turbine 13, die in der Verbrennungsturbinemaschine von **Fig. 1** verwendet werden kann. Die Turbine 13 kann mehrere Stufen beinhalten. Abgebildet sind drei beispielhafte Stufen, in der Turbine 13 können sich aber mehr oder weniger Stufen befinden. Eine erste Stufe beinhaltet mehrere Turbinenlaufschaufeln 16, die sich während des Betriebs um die Welle drehen, und mehrere Leitschaufeln 17, die während des Betriebs ortsfest bleiben. Die Turbinenleitschaufeln 17 sind im Allgemeinen in Umfangsrichtung voneinander beabstandet und um die Drehachse befestigt. Die Turbinenlaufschaufeln 16 können zur Drehung um die Welle (nicht gezeigt) an einem Turbinenrad (nicht gezeigt) montiert sein. Es ist auch eine zweite Stufe der Turbine 13 dargestellt. Die zweite Stufe beinhaltet gleichermaßen mehrere in Umfangsrichtung voneinander beabstandete Turbinenleitschaufeln 17 gefolgt von mehreren in Umfangsrichtung voneinander beabstandeten Turbinenlaufschaufeln 16, die zur Drehung ebenfalls an einem Turbinenrad montiert sind. Auch eine dritte Stufe ist dargestellt und beinhaltet gleichermaßen mehrere Turbinenleitschaufeln 17 und -laufschaufeln 16. Es ist zu beachten, dass die Turbinenleitschaufeln 17 und die Turbinenlaufschaufeln 16 im Heißgasweg der Turbine 13 liegen. Die Strömungsrichtung der heißen Gase durch den Heißgasweg wird von dem Pfeil angezeigt. Der Durchschnittsfachmann erkennt, dass die Turbine 13 mehr oder in einigen Fällen weniger Stufen als die in **Fig. 3** dargestellten haben kann. Jede zusätzliche Stufe kann eine Reihe von Turbinenleitschaufeln 17 gefolgt von einer Reihe von Turbinenlaufschaufeln 16 beinhalten.

**[0035]** In einem Betriebsbeispiel kann die Drehung der Verdichterlaufschaufeln 14 innerhalb des Axialverdichters 11 einen Luftstrom verdichten. In der Brennkammer 12 kann Energie freigesetzt werden, wenn die verdichtete Luft mit einem Brennstoff vermischt und entzündet wird. Der sich dadurch ergebende Strom heißer Gase aus der Brennkammer 12, der als Arbeitsfluid bezeichnet werden kann, wird dann über die Turbinenlaufschaufeln 16 geleitet, wobei der Arbeitsfluidstrom die Drehung der Turbinenlaufschaufeln 16 um die Welle bewirkt. Dadurch wird die Strömungsenergie des Arbeitsfluids in die mechanische Energie der umlaufenden Schaufeln und, aufgrund der Verbindung zwischen den Laufschaufeln und der Welle, der rotierenden Welle umgesetzt. Die mechanische Energie der Welle kann dann zum Antreiben der Drehung der Verdichterlaufschaufeln 14, so dass die notwendige Zufuhr von verdichteter Luft erzeugt wird, und auch z.B. eines Generators zur Elektrizitätserzeugung verwendet werden.

**[0036]** **Fig. 4** ist eine perspektivische Ansicht einer Turbinenlaufschaufel 16 des Typs, bei dem Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden können. Die Turbinenlaufschaufel 16 beinhaltet eine Wurzel 21, über die die Laufschaufel 16 an einem Laufrad angebracht wird. Die Wurzel 21 kann einen Schwabenschwanz beinhalten, der zum Einbau in einer entsprechenden Schwabenschwanznut im Außenrand des Laufrads gestaltet ist. Die Wurzel 21 kann ferner einen Schaft beinhalten, der zwischen dem Schwabenschwanz und einer Plattform 24 verläuft, die an der Verbindungsstelle des Schaufelblatts 25 und der Wurzel 21 angeordnet ist und einen Teil der innenliegenden Grenze des Strömungswegs durch die Turbine 13 definiert. Es ist zu beachten, dass das Schaufelblatt 25 die aktive Komponente der Laufschaufel 16 ist, die den Arbeitsfluidstrom abfängt und das Laufrad zum Drehen veranlasst. Die Schaufel in diesem Beispiel ist zwar eine Turbinenlaufschaufel 16, es ist aber zu beachten, dass die vorliegende Erfindung auch auf andere Schaufeltypen innerhalb der Turbinenmaschine 10 angewendet werden kann, einschließlich der Turbinenleitschaufeln 17. Es ist erkennbar, dass das Schaufelblatt 25 der Laufschaufel 16 eine konkave druckseitige Außenwand 26 und eine in Umfangsrichtung oder quer gegenüberliegende konvexe saugseitige Außenwand 27 beinhaltet, die sich axial zwischen einer Vorder- und einer Hinterkante 28 bzw. 29 erstrecken, die einander entgegengesetzt sind. Die Seitenwände 26 und 27 verlaufen auch von der Plattform 24 in der radialen Richtung zu einer außenliegenden Spitze 31. (Es ist zu beachten, dass die Anwendung der vorliegenden Erfindung möglicherweise nicht auf Turbinenlaufschaufeln beschränkt ist, sondern auch auf Leitschaufeln anwendbar ist. Die Nutzung von Laufschaufeln in den mehreren hierin beschriebenen Ausführungsformen ist, wenn nicht anders angegeben, beispielhaft.)

**[0037]** **Fig. 5** zeigt den Aufbau einer Innenwand, wie sie im Schaufelblatt 25 einer Laufschaufel mit einer konventionellen Konstruktion zu finden sein kann. Wie angedeutet, kann die Außenfläche des Schaufelblatts 25 von einer relativ dünnen druckseitigen Außenwand 26 und saugseitigen Außenwand 27 definiert werden, die über mehrere radial verlaufende und sich überkreuzende Rippen 60 verbunden sein können. Die Rippen 60 sind so gestaltet, dass sie dem Schaufelblatt 25 strukturelle Unterstützung bieten und gleichzeitig auch mehrere radial verlaufende und im Wesentlichen getrennte Strömungsdurchgänge 40 definieren. Die Rippen 60 verlaufen gewöhnlich radial, um die Strömungsdurchgänge über einen Großteil der radialen Höhe des Schaufelblatts 25 hinweg abzuteilen, der Strömungsdurchgang kann aber, wie unten noch weiter besprochen wird, am Außenrand des Schaufelblatts entlang verbunden sein, um einen Kühlkreis zu definieren. Das heißt, die Strömungsdurchgänge 40 können am

außenliegenden oder innenliegenden Rand des Schaufelblatts 25 sowie über eine Anzahl kleinerer Verbindungs durchgänge oder Prallöffnungen (nicht gezeigt), die dazwischen positioniert sein können, in Strömungsverbindung sein. Auf diese Weise können gewisse der Strömungsdurchgänge 40 zusammen einen gewundenen oder geschlängelten Kühlkreis bilden. Außerdem können Filmkühlungslöcher (nicht gezeigt) vorgesehen sein, die Auslässe bereitstellen, durch die Kühlmittel aus den Strömungsdurchgängen 40 auf die Außenfläche des Schaufelblatts 25 hinausgelassen wird.

**[0038]** Zu den Rippen 60 können zwei verschiedene Typen gehören, die dann, wie hierin vorgesehen ist, weiter unterteilt werden können. Ein erster Typ, eine Skelettliniensrippe 62, ist gewöhnlich eine längere Rippe, die parallel oder etwa parallel zur Skelettlinie des Schaufelblatts verläuft, die eine sich von der Vorderkante 28 zur Hinterkante 29 erstreckende Bezugslinie ist, welche die Mittelpunkte zwischen der druckseitigen Außenwand 28 und der saugseitigen Außenwand 27 verbindet. Wie oft der Fall ist, beinhaltet die konventionelle Anordnung von **Fig. 5** zwei Skelettliniensrippen 62, eine druckseitige Skelettliniensrippe 63, die angesichts dessen, wie sie von der druckseitigen Außenwand 26 versetzt und nahe an ihr ist, auch als die druckseitige Innenwand bezeichnet werden kann, und eine saugseitige Skelettliniensrippe 64, die auch als die angesichts dessen, wie sie von der saugseitigen Außenwand 27 versetzt und nahe an ihr ist, auch als die saugseitige Innenwand bezeichnet werden kann. Wie erwähnt, wird dieser Konstruktionstyp aufgrund der vorherrschenden vier Hauptwände, zu denen die zwei Seitenwände 26, 27 und die zwei Skelettliniensrippen 63, 64 gehören, oft als eine „vierwandige“ Anordnung bezeichnet. Es ist zu beachten, dass die Außenwände 26, 27 und die Skelettliniensrippen 62 als integrierte Teile gegossen sind.

**[0039]** Der zweite Rippentyp wird hierin als eine Querrippe 66 bezeichnet. Querrippen 66 sind die kürzeren Rippen, welche die Wände und Innenrippen der vierwandigen Anordnung verbindend gezeigt werden. Wie angezeigt, können die vier Wände durch eine Anzahl von Querrippen 66 verbunden sein, die je nachdem, mit welcher der Wände sie verbunden sind, noch weiter eingestuft werden können. Wie hierin verwendet, werden die Querrippen 66, welche die druckseitige Außenwand 26 mit der druckseitigen Skelettliniensrippe 63 verbinden, als die druckseitigen Querrippen 67 bezeichnet. Die Querrippen 66, welche die saugseitige Außenwand 27 mit der saugseitigen Skelettliniensrippe 64 verbinden, werden als saugseitige Querrippen 68 bezeichnet. Schließlich werden die Querrippen 66, welche die druckseitige Skelettliniensrippe 63 mit der saugseitigen Skelettliniensrippe 64 verbinden, als mittlere Querrippen 69 bezeichnet.

**[0040]** Im Allgemeinen hat die vierwandige Innenanordnung in einem Schaufelblatt 25 den Zweck, für effiziente wandnahe Kühlung zu sorgen, wobei die Kühlluft in Kanälen neben den Außenwänden 26, 27 des Schaufelblatts 25 strömt. Es ist zu beachten, dass wandnahe Kühlung vorteilhaft ist, weil die Kühlluft sich in enger Nähe der heißen Außenflächen des Schaufelblatts befindet, und die resultierenden Wärmeübergangskoeffizienten sind aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeit, die durch Drosselung des Durchflusses durch schmale Kanäle erzielt wird, hoch sind. Derartige Auslegungen sind aber dafür anfällig, aufgrund unterschiedlicher in dem Schaufelblatt 25 erfahrener Wärmeausdehnungsgrade eine Kurzzeitermüdung zu erfahren, die im Endeffekt die Lebensdauer der Laufschaufel verkürzen kann. Zum Beispiel ist die Wärmeausdehnung der saugseitigen Außenwände 27 im Betrieb größer als die der saugseitigen Skelettliniensrippe 64. Diese unterschiedliche Ausdehnung führt meist zur Vergrößerung der Länge der Skelettlinie des Schaufelblatts 25 und verursacht dadurch Belastungen zwischen jeder dieser Strukturen sowie jener Strukturen, die sie miteinander verbinden. Außerdem ist die Wärmeausdehnung der druckseitigen Außenwand 26 auch größer als die der kühleren druckseitigen Skelettliniensrippe 63. In diesem Fall führt die Differenz zur Verkürzung der Länge der Skelettlinie des Schaufelblatts 25 und verursacht dadurch Belastungen zwischen jeder dieser Strukturen sowie jener Strukturen, die sie miteinander verbinden. Die gegensätzlichen Kräfte innerhalb des Schaufelblatts, die in dem einen Fall zur Verkürzung der Schaufelblattskelettlinie tendieren und in dem anderen zu ihrer Verlängerung, können zu weiteren Belastungskonzentrationen führen. Die verschiedenen Arten, auf die sich diese Kräfte zeigen, werden angesichts der besonderen strukturellen Anordnung eines Schaufelblatts und der Art und Weise, wie die Kräfte dann ausgeglichen und kompensiert werden, zu einem bedeutenden bestimmenden Faktor der Teillebensdauer der Laufschaufel 16.

**[0041]** Spezieller neigt in einer üblicheren Situation die saugseitige Außenwand 27 dazu, sich am Scheitelpunkt ihrer Krümmung nach außen zu biegen, wenn der Kontakt mit den hohen Temperaturen des Heißgaswegs sie zur Wärmeausdehnung veranlasst. Es ist zu erkennen, dass die saugseitige Skelettliniensrippe 64, die eine Innenwand ist, nicht den gleichen Wärmeausdehnungsgrad erfährt und daher nicht die gleiche Tendenz hat, sich nach außen zu biegen. Die Skelettliniensrippe 64 widersteht dann der wärmebedingten Vergrößerung der Außenwand 27. Weil konventionelle Konstruktionen Skelettliniensrippen 62 haben, die mit steifen Geometrien, die wenig oder keine Nachgiebigkeit bieten, ausgebildet sind, können die sich daraus ergebenden Widerstands- und Belastungskonzentrationen beträchtlich sein. Das Problem wird noch dadurch erschwert,

dass die Querrippen 66, die zur Verbindung der Skeletlinienrippe 62 mit der Außenwand 27 verwendet werden, mit linearen Profilen ausgebildet und im Allgemeinen im rechten Winkel zu den Wänden, mit denen sie verbunden sind, ausgerichtet sind. Angesichts dieser Tatsache fungieren die Querrippen 66 bei der Ausdehnung der erhitzten Strukturen mit bedeutend unterschiedlichen Ausdehnungsraten eigentlich zum Festhalten der „kalten“ räumlichen Beziehung zwischen der Außenwand 27 und der Skeletlinienrippe 64. Dementsprechend sind konventionelle Anordnungen mit wenig oder keiner in die Struktur eingebauten „Nachgiebigkeit“ schlecht zur Entschärfung der Belastungen geeignet, die sich in gewissen Regionen der Struktur konzentrieren. Die unterschiedliche Wärmeausdehnung führt somit zu Kurzzeitermüdungsproblemen, welche die Bauteillebensdauer verkürzen.

**[0042]** In der Vergangenheit wurden bereits viele verschiedene innere Kühlsysteme und strukturelle Anordnungen für Schaufelblätter bewertet und es wurde versucht, dieses Problem zu berichten. Ein derartiger Ansatz schlägt die Überkühlung der Außenwände 26, 27 vor, so dass die Temperaturdifferenz und dadurch die Wärmeausdehnungsdifferenz verringert werden. Es ist aber zu beachten, dass die Art und Weise, wie dies gewöhnlich bewerkstelligt wird, darin besteht, die durch das Schaufelblatt umgewälzte Kühlmittelmenge zu vergrößern. Weil Kühlmittel gewöhnlich aus dem Verdichter abgezapfte Luft ist, beeinträchtigt sein erhöhter Verbrauch den Wirkungsgrad der Maschine und ist somit eine Lösung, die vorzugsweise zu vermeiden ist. Andere Lösungen haben die Verwendung von verbesserten Herstellungsverfahren und/oder kompliziertere Innenkühlungsstrukturen vorgeschlagen, die zwar die gleiche Kühlmittelmenge verwenden, sie aber effizienter nutzen. Diese Lösungen haben sich zwar in gewisser Hinsicht als effektiv erwiesen, jede bringt aber entweder zusätzliche Kosten für den Betrieb der Maschine oder die Herstellung des Teils mit sich und tut nichts, um das zugrundeliegende Problem direkt anzugehen, nämlich die geometrischen Mängel konventioneller Konstruktion angesicht dessen, wie sich Schaufelblätter während des Betriebs wärmebedingt ausdehnen.

**[0043]** Die vorliegende Erfindung lehrt allgemein gewisse sich krümmende oder blasenartige oder sinusförmige oder wellige Innenrippen (im Folgenden „wellige Rippen“), die unausgeglichene Wärmebelastungen beseitigen, die oft im Schaufelblatt von Turbinenschaufeln auftreten. Im Rahmen dieses allgemeinen Konzepts beschreibt die vorliegende Erfindung mehrere Methoden, wie dies erreicht werden kann, zu denen wellige Skeletlinienrippen 62 und/oder Querrippen 66 sowie gewisse Typen von abgewinkelten Verbindungen zwischen ihnen zählen. Es ist zu beachten, dass diese neuen Anordnungen -

die, wie in den angehängten Ansprüchen umrissen, separat oder kombiniert eingesetzt werden können - die Steifigkeit der Innenstruktur des Schaufelblatts 25 reduzieren, um eine zielgerichtete Flexibilität bereitzustellen, durch die Belastungskonzentrationen zerstreut und Beanspruchungen auf andere strukturelle Regionen übertragen werden, die sie besser aushalten können. Dies kann z.B. das Ableiten an eine Region beinhalten, welche die Beanspruchung über eine größere Fläche oder vielleicht Struktur verteilt, die Zugspannungen zugunsten einer Druckbelastung abgibt, die gewöhnlich bevorzugt wird. Auf diese Weise können die Lebensdauer verkürzende Belastungskonzentrationen und Beanspruchungen vermieden werden.

**[0044]** **Fig. 6** bietet Querschnittsansichten einer Turbinenlaufschaufel 16 mit einer Innenwandanordnung gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. Speziell beinhaltet ein Aspekt der vorliegenden Erfindung die Anordnung von Rippen 60, die gewöhnlich sowohl als strukturelle Unterstützung als auch als Unterteilungen verwendet werden, die hohle Schaufelblätter 25 in im Wesentlichen getrennte radial verlaufende Strömungsdurchgänge 40 aufteilen, die nach Wunsch miteinander verbunden sein können, um Kühlkreise zu bilden. Diese Strömungsdurchgänge 40 und die von ihnen gebildeten Kreise werden verwendet, um einen Kühlmittstrom auf besondere Weise durch das Schaufelblatt 25 zu leiten, so dass seine Nutzung zielgerichtet und effizienter ist. Die hierin gegebenen Beispiele werden zwar so gezeigt, wie sie in Turbinenlaufschaufeln 16 verwendet werden könnten, es ist aber zu erkennen, dass die gleichen Konzepte auch in Turbinenleitschaufeln 17 eingesetzt werden können. In einer Ausführungsform beinhaltet die Rippenanordnung der vorliegenden Erfindung eine Skeletlinienrippe 62 mit einem welligen Profil (es ist vorgesehen, dass sich der Begriff „Profil“, wie hierin verwendet, auf die Form bezieht, die die Rippen in den Querschnittsansichten von **Fig. 6** haben). Eine Skeletlinienrippe 62, wie oben beschrieben, ist eine der längeren Rippen, die sich gewöhnlich von einer Position nahe der Vorderkante 28 des Schaufelblatts 25 in Richtung auf die Hinterkante 29 erstrecken. Diese Rippen werden als „Skeletlinienrippen“ bezeichnet, weil der von ihnen beschriebene Weg etwa parallel zur Skeletlinie des Schaufelblatts 25 ist, die eine Bezugslinie ist, die zwischen der Vorderkante 28 und der Hinterkante 29 des Schaufelblatts 25 durch eine Sammlung von Punkten verläuft, die den gleichen Abstand zwischen der konkaven druckseitigen Außenwand 26 und der konvexen saugseitigen Außenwand 27 haben. Gemäß der vorliegenden Erfindung beinhaltet ein „welliges Profil“ eines, das eine merklich gekrümmte und sinusförmige Form hat, wie angedeutet. Das heißt, das „wellige Profil“ ist eines, das ein hin- und hergehendes „S“-Profil darstellt, wie in **Fig. 6** angedeutet.

**[0045]** Das bzw. die mit dem Wellenprofil gestaltete Segment oder Länge der Skeletlinienrippe 62 kann in Abhängigkeit von Konstruktionskriterien variieren. In den gegebenen Beispielen erstreckt sich die wellige Skeletlinienrippe 62 gewöhnlich von einer Position nahe der Vorderkante 28 des Schaufelblatts 25 zu einer Position, die jenseits des Mittelpunkts der Skeletlinie des Schaufelblatts 25 liegt. Es ist zu beachten, dass der wellige Teil der Skeletlinienrippe 62 eine kürzere Länge haben kann, während er noch die gleichen hierin besprochenen Typen von Leistungsvorteilen ergibt. Die Zahl der Krümmungen sowie die Länge des welligen Segments der Skeletlinienrippe 62 können zum Erzielen der besten Ergebnisse variiert werden. In gewissen Ausführungsformen wird die wellige Skeletlinienrippe 62 der vorliegenden Erfindung von der Zahl vollständiger hin- und hergehender „S“-Formen definiert, die sie enthält. In einer bevorzugten Ausführungsform dieses Typs beinhaltet die wellige Skeletlinienrippe 62 wenigstens eine kontinuierliche hin- und hergehende „S“-Form. In einer weiteren Ausführungsform beinhaltet die wellige Skeletlinienrippe 62 wenigstens zwei aufeinanderfolgende und kontinuierliche hin- und hergehende „S“-Formen. Bezüglich der Gesamtlänge kann das wellige Segment der Skeletlinienrippe 62 über einen beträchtlichen Teil der Länge der Skeletlinie des Schaufelblatts 25 hinweg verlaufen. Zum Beispiel macht der wellige Teil der Skeletlinienrippe 62 in einer bevorzugten Ausführungsform, wie in **Fig. 6** gezeigt, über 50 % der Länge der Skeletlinie des Schaufelblatts 25 aus. Das heißt, der wellige Teil der Skeletlinienrippe 62 geht von nahe der Vorderkante 28 des Schaufelblatts 25 aus und verläuft nach hinten und weit über den Scheitelpunkt der Krümmung des Schaufelblatts 25 hinaus. Es ist zu beachten, dass auch kürzere Längen mit Leistungsvorteilen eingesetzt werden können, wie wellige Teile mit einer Länge von wenigstens 25 % der Skeletlinienrippe 62.

**[0046]** Es ist zu beachten, dass eine wellige Skeletlinienrippe 62 angesichts ihres gewundenen Profils einen Weg beschreiben kann, der in seiner Richtung variiert. Die wellige Skeletlinienrippe 62 der vorliegenden Erfindung kann immer noch als einen allgemein sich wölbenden Weg aufweisend beschrieben werden, über den sie sich windet, und dass dieser Weg gewöhnlich von einem Ausgangspunkt nahe der Vorderkante 28 zu einem hinteren Punkt nahe der Hinterkante 29 des Schaufelblatts verläuft. Es ist zu beachten, dass es im Fall einer welligen Skeletlinienrippe 62 dieser allgemeine sich wölbende Weg ist, der grob parallel zur Skeletlinie des Schaufelblatts 25 ist.

**[0047]** Viele bekannte Anordnungen des Schaufelblatts 25, wie das oben besprochene vierwandige Beispiel von **Fig. 5**, beinhalten zwei Skeletlinienrippen 62. Dieser Anordnungstyp kann eine druckseitige

Skeletlinienrippe 62, die sich nahe der druckseitigen Außenwand 26 befindet, und eine saugseitige Skeletlinienrippe 64, die sich nahe der saugseitigen Außenwand 27 befindet, aufweisend beschrieben werden. Die vorliegende Erfindung, wie in **Fig. 6** gezeigt, kann Anordnungen beinhalten, in denen sowohl die saugseitige Skeletlinienrippe 64 als auch die druckseitige Skeletlinienrippe 63 als wellige Rippen ausgebildet sind. In alternativen Ausführungsformen kann nur eine dieser Skeletlinienrippen 62 ein welliges Profil haben. Es ist zu beachten, dass die vorliegende Erfindung auch in Anordnungen mit nur einer einzelnen Skeletlinienrippe 62 einsetzt werden kann.

**[0048]** Bei Schaufelblättern 25, die zwei Skeletlinienrippen 62 beinhalten, ist zu beachten, dass die druckseitige Skeletlinienrippe 63 und die saugseitige Skeletlinienrippe 64 einen mittleren Strömungsdurchgang 40 definieren. Das wellige Profil für die druckseitige Skeletlinienrippe 63 und die saugseitige Skeletlinienrippe 64 kann jeweils relativ zu der Form definiert sein, die dem mittleren Strömungsweg 40 zugekehrte aufeinanderfolgende Segmente der Skeletlinienrippe 62 einnehmen. Das heißt, das wellige Profil der Skeletlinienrippe 62 kann zum Beispiel relativ zum zentralen Strömungsweg 40 als zwei aufeinanderfolgende Segmente beinhaltend beschrieben werden, bei denen ein erstes konkaves Segment in ein zweites konvexes Segment übergeht. In einer alternativen Ausführungsform kann das wellige Profil vier oder mehr Segmente haben, in denen: ein erstes konkaves Segment in ein zweites konvexes Segment übergeht, wobei das zweite konvexe Segment in ein drittes konkaves Segment übergeht und das dritte konkave Segment in ein vierstes konvexes Segment übergeht.

**[0049]** Nach einem Aspekt der vorliegenden Erfindung kann die Innenstruktur eines Schaufelblatts entlang der Skeletlinienrichtung des Schaufelblatts wellige Rippen beinhalten. Indem die Skeletlinienrippe 62 auf diese Weise zu einer Feder gemacht wird, kann das innere Rückgrat des Schaufelblatts nachgiebiger gemacht werden, so dass Leistungsvorteile erzielt werden können. Außerdem können die Querrippen der Schaufelblattstruktur gekrümmt sein, um den Belastungsweg weiter zu erweichen und um mit den Rippen 62 und den durch sie verbundenen Außenwänden 26, 27 nachgiebigere Verbindungen herzustellen. Während die normalen linearen Rippenkonstruktionen hohe Belastung und Kurzzeitermüdung aufgrund des thermischen Konflikts zwischen den inneren Kühlraumwänden und den viel heißen Außenwänden erfahren, sieht die vorliegende Erfindung einen federartigen Aufbau vor, der Belastungskonzentrationen besser verstreuen kann, was, wie hierin vorgesehen, zur Verbesserung der Lebensdauer des Bauteils verwendet werden kann.

**[0050]** Die **Fig. 7** und **8** sehen Querschnittsansichten eines Schaufelblatts mit einem Turbulenz erzeugenden Verbindungs durchgang 111 gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung vor. Es ist zu erkennen, dass **Fig. 7** eine Nahansicht von Strömungsdurchgängen 40 auf der Saugseite eines Schaufelblatts 25 zeigt, während **Fig. 8** eine ähnliche Ansicht von Strömungsdurchgängen 40 auf der Druckseite eines Schaufelblatts 5 veranschaulicht. **Fig. 7** beinhaltet eine traditionellere Anordnung, während **Fig. 8** eine Gestaltung veranschaulicht, die eine wellige Skelettliniенrippe 62 mit einem welligen Profil beinhaltet. Wie angedeutet, bildet der Verbindungs durchgang 111 eine Strömungsverbindung von einem in einem Strömungsdurchgang 40 gebildeten Einlass zu einem in einem zweiten oder stromabwärtigen Strömungsdurchgang 40 gebildeten Auslass 117. Es ist zu erkennen, dass derartige Verbindungs durchgänge 111 gewöhnlich in inneren Anordnungen enthalten sind, um die Strömungsverbindung zwischen Strömungsdurchgängen bereitzustellen, oder aufgrund von gießtechnischen Anforderungen anwesend sind (d.h. die Reste von während des Gießverfahrens verwendeten Stützverbindern, die gewöhnlich zum Aufrechterhalten einer gewünschten räumlichen Beziehung von länglichen Teilen des Gießkerns erforderlich sind). Gemäß der vorliegenden Erfindung sind Verbindungs durchgänge 111 dieses Typs mit einer abgewinkelten oder abgeschrägten Anordnung relativ zum stromabwärtigen Strömungsdurchgang ausgebildet, d.h. dem Strömungsweg, innerhalb dessen der Auslass 117 ausgebildet ist.

**[0051]** Die abgeschrägte Anordnung gemäß der vorliegenden Erfindung kann auf mehrere Weisen beschrieben werden. Zum Beispiel kann eine Mittelachse des Verbindungs durchgangs 111 relativ zu einer Richtung abgewinkelt sein, die zu der Oberfläche, die den Auslass 117 des Verbindungs durchgangs umgibt, lotrecht ist. In diesem Fall kann die abgeschrägte Anordnung eine beinhalten, bei der die Mittelachse des Verbindungs durchgangs 111 und die zur Umgebungsfläche des Auslasses 117 lotrechte Richtung einen spitzen Winkel definieren, der wenigstens 20 Grad beträgt. Eine weitere Art und Weise zur Beschreibung dieser Beziehung, wie in **Fig. 7** und **8** veranschaulicht, ist, dass ein linearer Verbindungs durchgang 111 relativ zu der den Auslass 117 umgebenden Oberfläche des Verbindungs durchgangs 111 abgewinkelt ist. In diesem Fall bilden der Verbindungs durchgang 111 und die den Auslass 117 des Verbindungs durchgangs 111 umgebende Oberfläche vorzugsweise einen Winkel 113, der kleiner als 70 Grad ist. In einer alternativen Ausführungsform bilden der Verbindungs durchgang 111 und die den Auslass 117 umgebende Oberfläche 117 einen Winkel 113, der kleiner als 50 Grad ist. Allgemeiner kann die abgeschrägte Anordnung auch als eine beschrieben werden, in welcher der Verbin-

dungsdurchgang 111 direkt tangential zu einer Mittelachse des zweiten Strömungsdurchgangs ist.

**[0052]** **Fig. 9**, die einen Längsschnitt des Schaufelblatts 25 bietet, veranschaulicht einen weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung. Wie angezeigt, beinhaltet der Verbindungs durchgang 111 eine radiale Neigung, die, wie hierin verwendet, der Grad ist, in dem der Verbindungs durchgang 111 relativ zu einer rein radialen Ausrichtung abgeschrägt ist. Angesichts der Ausrichtung der Strömungsdurchgänge in **Fig. 9** ist zu erkennen, dass die radiale Richtung von den Oberflächen der Wände 26, 62 dargestellt wird. In bevorzugten Ausführungsformen beinhaltet die radiale Neigung der abgeschrägten Anordnung einen Winkel 119 von wenigstens 20 Grad. In einer alternativen Ausführungsform beinhaltet die radiale Neigung der abgeschrägten Anordnung einen Winkel 119 von wenigstens 40 Grad.

**[0053]** Die Verbindungs durchgänge 111 können eine schmalere Anordnung beinhalten, die ausreicht, um einen Strom von unter Druck stehendem Kühlmittel aufprallen zu lassen und die Prallströmung auf eine Zielregion auszurichten. Es ist zu erkennen, dass ein derartiges Aufprallenlassen eines Kühlmittelstroms seine Kühlwirkung erhöht. Der stromabwärtige Strömungsdurchgang (d.h. der Strömungsdurchgang, in welchen die Verbindungs durchgänge 111 durchströmendes Kühlmittel hineinströmt) kann als eine Anzahl von radial verlaufenden Seiten aufweisend beschrieben werden. Einige Strömungsdurchgänge haben eine rechteckige Form und beinhalten vier derartige Seiten, während andere mehr oder weniger haben können. Der Auslass 117 des Verbindungs durchgangs 111 ist an einer dieser Seiten ausgebildet, die als die Auslassseite 116 bezeichnet werden kann, während eine weitere der Seiten eine Zielseite ist, d.h. die Seite, auf die der Verbindungs durchgang 111 gerichtet ist. In einigen Fällen sind die Seite, die den Auslass 117 beinhaltet, und die Zielseite einander entgegengesetzte Seiten oder Seiten, die einander über den stromabwärtigen Strömungsdurchgang hinweg gegenüberliegen. In diesem Fall ist die Zielseite eine entgegengesetzte Seite 114. In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Seite, die den Auslass 117 beinhaltet, und die Zielseite aneinander angrenzende Seiten. In diesem Fall ist die Zielseite eine angrenzende Seite 115. Wenn die Zielseite eine angrenzende Seite 115 ist, kann der Verbindungs durchgang 111, wie angezeigt, nahe der angrenzenden Seite positioniert sein.

**[0054]** In einer alternativen Ausführungsform, wie in **Fig. 7** und in **Fig. 8** veranschaulicht, beinhaltet die Zielseite einen Turbulenzerzeuger 118. Ein Turbulenzerzeuger 118 ist, wie ein Durchschnittsfachmann erkennen wird, ein länglicher Vorsprung, der im typischen Fall abgerundet ist und steile Seiten hat. Wie angedeutet, kann der Turbulenzerzeuger 118 radial

ausgerichtet und an der Zielseite positioniert sein. Es ist zu erkennen, dass der Turbulenzerzeuger 118 den Oberflächeninhalt der Innenwand vergrößert und eine Wirbelströmung hervorruft, die den Wärmeübergangskoeffizienten in diesem Bereich erhöht. Der Turbulenzerzeuger 118 kann auch, wie veranschaulicht, relativ zum abgeschrägten Verbindungs durchgang 111 positioniert sein, um die Bildung von Wirbeln zu fördern, was von den Strömungspfeilen in **Fig. 7** und **Fig. 8** angedeutet wird.

**[0055]** Wie in **Fig. 8** veranschaulicht, kann der Verbindungs durchgang 111 in einer bevorzugten Ausführungsform einen gekrümmten Weg haben. Der gekrümmte Weg kann das Kühlmittel so einspeisen, dass es enger an den Wänden des Strömungsdurchgangs anliegt, was z.B. vorteilhaft zur Verbesserung der Wirksamkeit der Turbulenzerzeuger 118 verwendet werden kann, wie in **Fig. 8** angedeutet wird. Die Krümmung des Wegs kann im Allgemeinen zur Verbesserung des im Strömungsdurchgang 40 hervorgerufenen Wirbels verwendet werden.

**[0056]** Die Verbindungs durchgänge 111 können verwendet werden, um die Strömungsverbindung mit beliebigen von mehreren Typen von Strömungsdurchgängen 40 herzustellen, die in der vorliegenden Ausführungsform besprochen wurden. In einer beispielhaften Ausführungsform, in der die Zielwand eine gegenüberliegende Seite 114 ist (d.h. die Seite des Strömungsdurchgangs 40, die der Auslassseite 116 gegenüber liegt), ist der Auslass 117 auf einer Skelettliniensrippe 62 positioniert. In diesem Fall ist die Zielwand entweder ein Teil einer anderen Skelettliniensrippe 62 oder die Zielwand kann eine der Außenwände, d.h. die druckseitige Außenwand 26 oder die saugseitige Außenwand 27, sein, d.h. die in den **Fig. 7** und **Fig. 8** gezeigten Ausführungsformen. In Fällen, in denen die Zielseite eine angrenzende Seite 115 des Strömungsdurchgangs 40 ist, ist der Auslass 117 vorzugsweise an einer Skelettliniensrippe 62 positioniert, während die Zielwand eine Querrippe 66 ist. Es ist zu erkennen, dass dazu druckseitige Querrippen 67, saugseitige Querrippen 68 oder mittlere Querrippen 69 zählen können. Alternativ kann der Auslass 117 an einer Querrippe 66 positioniert sein, während die angrenzende Zielseite des Strömungsdurchgangs 40 Teil einer Skelettliniensrippe 62 ist. In einer bevorzugten Ausführungsform ist entweder die Auslassseite 116 oder die Zielwand eine Skelettliniensrippe, die ein welliges Profil hat. Das wellige Profil kann eine der Anordnungen beinhalten, die oben in Bezug auf **Fig. 6** besprochen wurden.

**[0057]** Im Betrieb ist der Verbindungs durchgang 111 der vorliegenden Erfindung so angeordnet, dass er einen Wirbel oder ein nichtradiales Strömungsbild hervorruft. Dies wird dadurch erzielt, dass der Verbindungs durchgang 111 so angeordnet wird, dass er

eine abgeschrägte Anordnung, wie oben definiert, relativ zum Strömungsdurchgang 40 hat, in welchen er Kühlmittel abgibt. Es ist zu erkennen, dass der Wärmeübergangskoeffizient eines Kühlstroms durch einen Hohlraum durch derartige Wirbel verbessert werden kann. Zum Beispiel verliert Kühlmittel, das eine glatte laminare Strömung durch einen Strömungsdurchgang hat, gewöhnlich mit dem Transferieren von Wärme aus den umgebenden Wänden zunehmend an Wirkung, weil der Kühlmittelstrom nahe diesen Wänden wärmer wird und die Temperaturdifferenz zwischen ihm und den Wänden kleiner wird. Die von den Verbindungs durchgängen 111 und/oder Turbulenzerzeugern 118 der vorliegenden Erfindung hervorgerufene(n) Wirbel und Wirbelströmung stören einen derartigen Strom auf eine Weise, die frisches Kühlmittel mit niedrigerer Temperatur aus der Mitte des Strömungsdurchgangs zu den umgebenden Oberflächen bringt. Dementsprechend können Aspekte der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden, um derartige Wirbel in Bereichen hervorzurufen, die höhere Wärmeübergangskoeffizienten erfordern. Auf diese Weise können Strömungsdurchgänge zum Verringern der Bildung von Wärmegradienten im Schaufelblatt abgestimmt werden. Weil die effektive Lebensdauer einer Turbinenschaufel von dem Grad der Wärmegradienten und den Kräften/Belastungen, die derartige Temperaturunterschiede in der Struktur hervorrufen, abhängt, können die in den vorhergehenden Absätzen beschriebenen Anordnungen von Verbindungs durchgängen zum thermischen Ausgleichen des Schaufelblatts und zur Verlängerung seiner Nutzungsdauer verwendet werden.

**[0058]** Die Erfindung ist durch die Patentansprüche definiert. Um eine gewisse Kürze zu bewahren und unter Berücksichtigung der Fähigkeiten des Durchschnittsfachmanns werden zwar nicht alle möglichen Iterationen bereitgestellt oder ausführlich besprochen, es ist aber vorgesehen, dass alle von den mehreren Ansprüchen unten oder anderweitig umfassten Kombinationen und möglichen Ausführungsformen Teil der vorliegenden Patentanmeldung bilden.

**[0059]** Eine Turbinenschaufel, umfassend ein Schaufelblatt, das von einer konkav geformten druckseitigen Außenwand und einer konvex geformten saugseitigen Außenwand definiert wird, die an Vorder- und Hinterkante entlang miteinander verbunden sind und dazwischen eine radial verlaufende Kammer zur Aufnahme eines Kühlmittelstroms bilden. Die Turbinenschaufel kann ferner Folgendes beinhalten: eine Rippenanordnung, die die Kammer in radial verlaufende Strömungsdurchgänge unterteilt, die einen ersten Strömungsdurchgang und einen zweiten Strömungsdurchgang beinhalten, und einen Verbindungs durchgang, der einen im ersten Strömungsdurchgang gebildeten Einlass mit einem im zweiten Strömungsdurchgang gebildeten Auslass

in Strömungsverbindung setzt. Der Verbindungs- durchgang kann eine abgeschrägte Anordnung relativ zum zweiten Strömungsdurchgang beinhalten.

### Patentansprüche

1. Turbinenschaufel mit einem Schaufelblatt (25), das von einer konkav geformten druckseitigen Außenwand (26) und einer konvex geformten saugseitigen Außenwand (27) definiert wird, die an Vorder- und Hinterkante (28, 29) entlang miteinander verbunden sind und dazwischen eine radial verlaufende Kammer zur Aufnahme eines Kühlmittelstroms bilden, wobei die Turbinenschaufel ferner Folgendes aufweist:

eine Rippenanordnung, die die Kammer in radial verlaufende Strömungsdurchgänge (40) unterteilt, die einen ersten Strömungsdurchgang und einen zweiten Strömungsdurchgang beinhalten, und einen Verbindungs- durchgang (111), der einen im ersten Strömungsdurchgang gebildeten Einlass mit einem im zweiten Strömungsdurchgang gebildeten Auslass (117) in Strömungsverbindung setzt, wobei der Verbindungs- durchgang (111) eine abgeschrägte Anordnung relativ zum zweiten Strömungsdurchgang aufweist, wobei der zweite Strömungsdurchgang von radial verlaufenden Seiten definiert wird, die Folgendes beinhalten: eine erste Seite, in der der Auslass (117) des Verbindungs- durchgangs (111) ausgebildet ist, und eine zweite Seite, auf die der Verbindungs- durchgang (111) gerichtet ist; wobei die erste und die zweite Seite aneinander angrenzende Seiten des zweiten Strömungsdurchgangs umfassen; wobei die erste Seite eine Skeletlinienrippe (62, 63, 64) umfasst und die zweite Seite eine Querrippe (66, 67, 68, 69) umfasst.

2. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, wobei die abgeschrägte Anordnung eine umfasst, bei der eine Mittelachse des Verbindungs- durchgangs (111) relativ zu einer Richtung abgewinkelt ist, die zu einer den Auslass (117) des Verbindungs- durchgangs (111) umgebenden Oberfläche lotrecht ist, und/oder wobei die abgeschrägte Anordnung eine umfasst, bei der die Mittelachse des Verbindungs- durchgangs (111) und die Richtung, die zur den Auslass (117) umgebenden Oberfläche lotrecht ist, einen spitzen Winkel (113) bilden, der größer als 20 Grad ist.

3. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, wobei der Verbindungs- durchgang (111) etwa linear ist, wobei die abgeschrägte Anordnung eine umfasst, bei der der Verbindungs- durchgang (111) relativ zu einer den Auslass (117) des Verbindungs- durchgangs (111) umgebenden Oberfläche abgewinkelt ist.

4. Turbinenschaufel nach Anspruch 3, wobei die abgeschrägte Anordnung eine umfasst, bei der der

Verbindungs- durchgang (111) und die den Auslass (117) des Verbindungs- durchgangs (111) umgebende Oberfläche einen Winkel (113) bilden, der kleiner als 70 Grad ist, und/oder wobei die abgeschrägte Anordnung eine umfasst, bei der der Verbindungs- durchgang (111) und die den Auslass (117) des Verbindungs- durchgangs (111) umgebende Oberfläche einen Winkel (113) bilden, der kleiner als 50 Grad ist, und/oder wobei die abgeschrägte Anordnung eine umfasst, bei der der Verbindungs- durchgang (111) tangential zu einer Mittelachse des zweiten Strömungsdurchgangs gerichtet ist, wobei der Verbindungs- durchgang (111) gekrümmkt ist und/oder wobei die abgeschrägte Anordnung des Verbindungs- durchgangs (111) eine radiale Neigung umfasst.

5. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, wobei der Verbindungs- durchgang (111) ein gekrümmtes Profil umfasst.

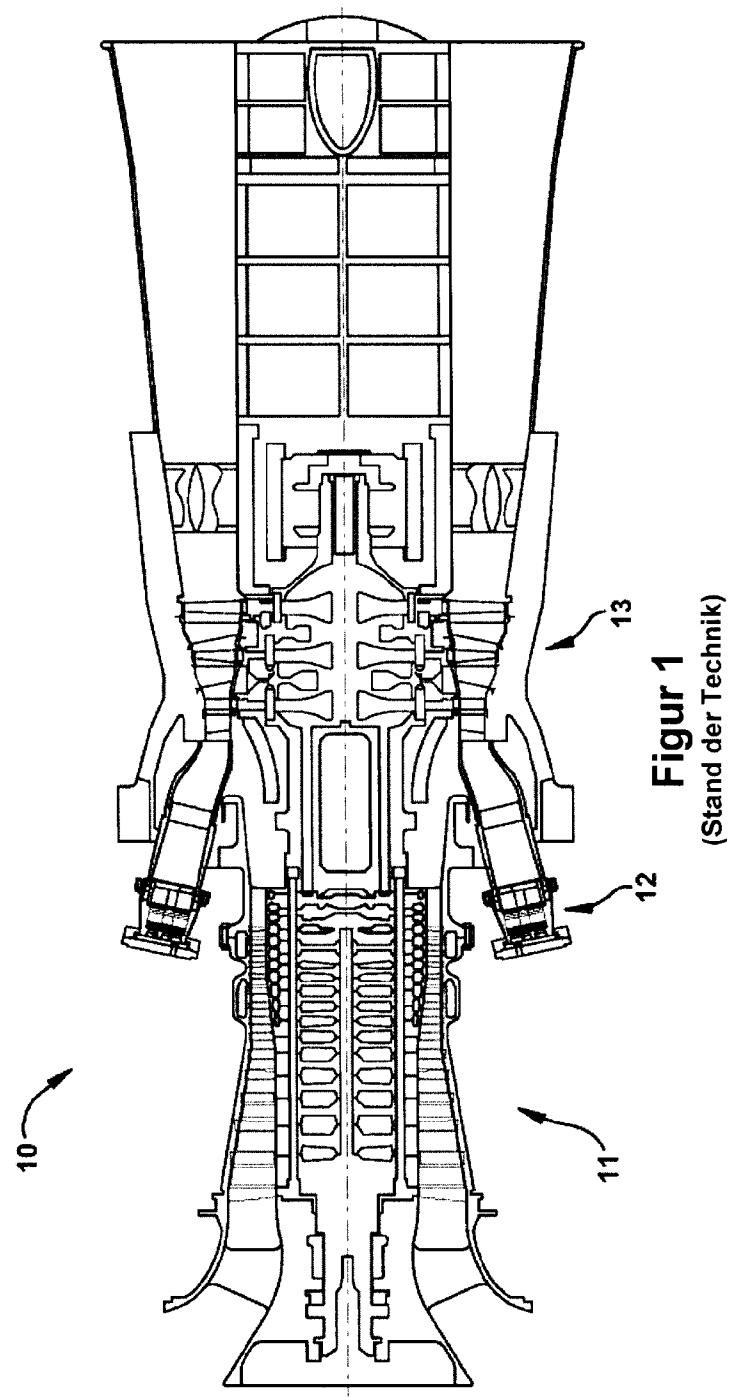
6. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, wobei die erste und die zweite Seite einander gegenüberliegende Seiten des zweiten Strömungsdurchgangs umfassen und/oder wobei die zweite Seite einen Turbulenzerzeuger (118) aufweist, wobei der Turbulenzerzeuger (118) einen etwa radial ausgerichteten länglichen Vorsprung mit steilen Seiten umfasst.

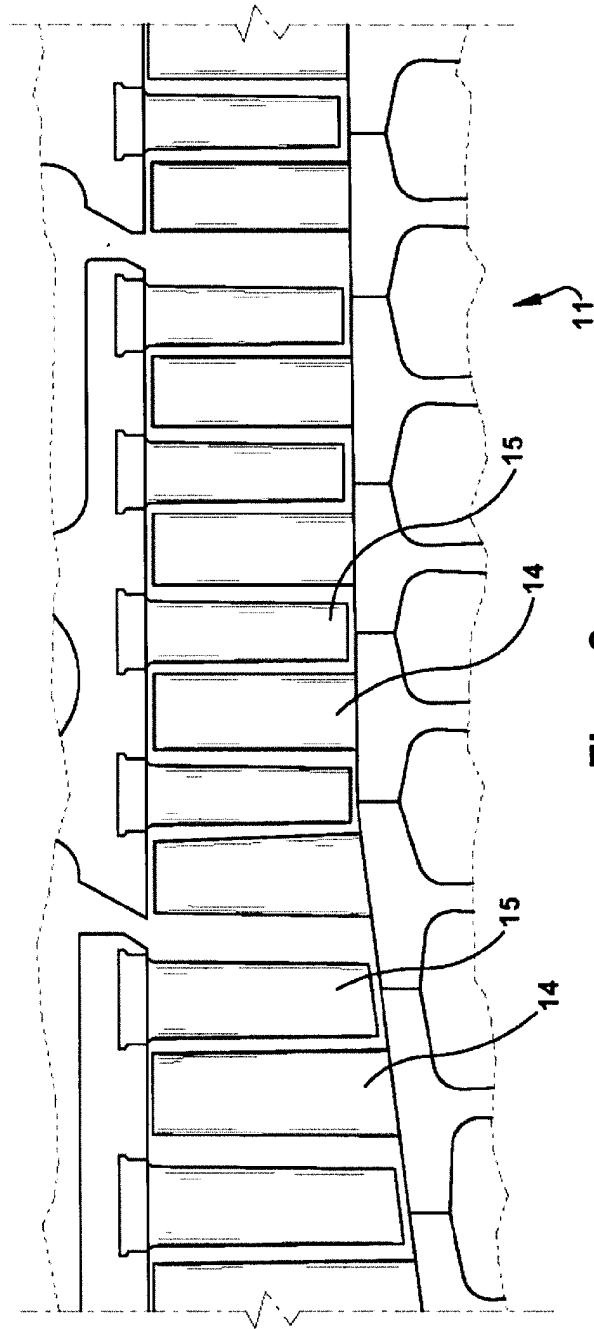
7. Turbinenschaufel nach Anspruch 6, wobei der zweite Strömungsdurchgang eine dritte Seite beinhaltet, die der zweiten Seite gegenüberliegt und an die erste Seite angrenzt, wobei der Auslass (117) eine Position an der ersten Seite aufweist, die näher an der zweiten Seite als der dritten Seite ist, und wobei der Verbindungs- durchgang (111) ein gekrümmtes Profil aufweist, bei dem die Krümmung zur ersten Seite ist.

8. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, wobei die erste Seite und die zweite Seite jeweils eine der Folgenden umfassen: eine druckseitige Außenwand, eine saugseitige Außenwand und eine Skeletlinienrippe (62, 63, 64) und/oder wobei die erste Seite eine Querrippe (66, 67, 68, 69) umfasst und die zweite Seite eine Skeletlinienrippe (62, 63, 64) umfasst und/oder wobei die erste Seite oder die zweite Seite ein Segment einer Skeletlinienrippe (62, 63, 64) umfasst, das ein welliges Profil hat, und wobei das wellige Profil eines beinhaltet, das wenigstens eine hin- und hergehende „S“-Form hat, wobei die Turbinenschaufel eine Turbinenlaufschau- fel umfasst und wobei der Verbindungs- durchgang (111) eine schmale Anordnung umfasst, die zum Aufprallenlassen eines Stroms von unter Druck stehendem Kühl- mittel durch sie hindurch gestaltet ist.

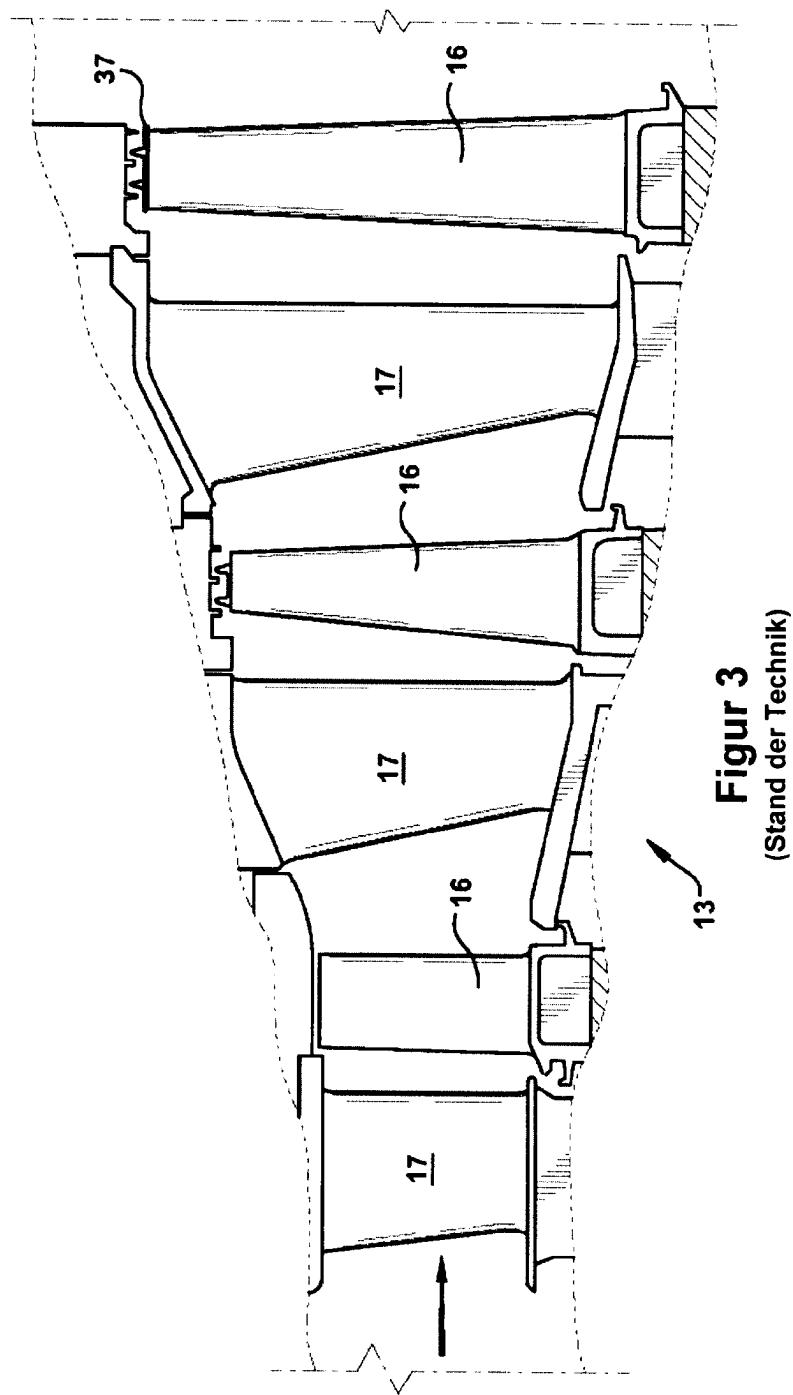
Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

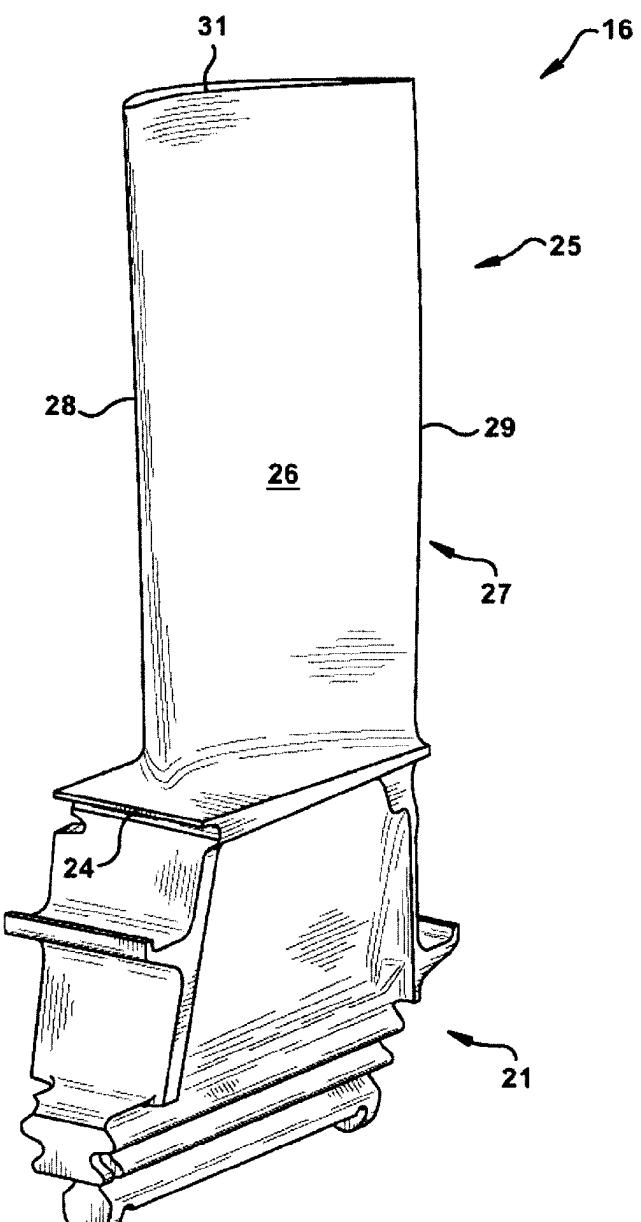
Anhängende Zeichnungen



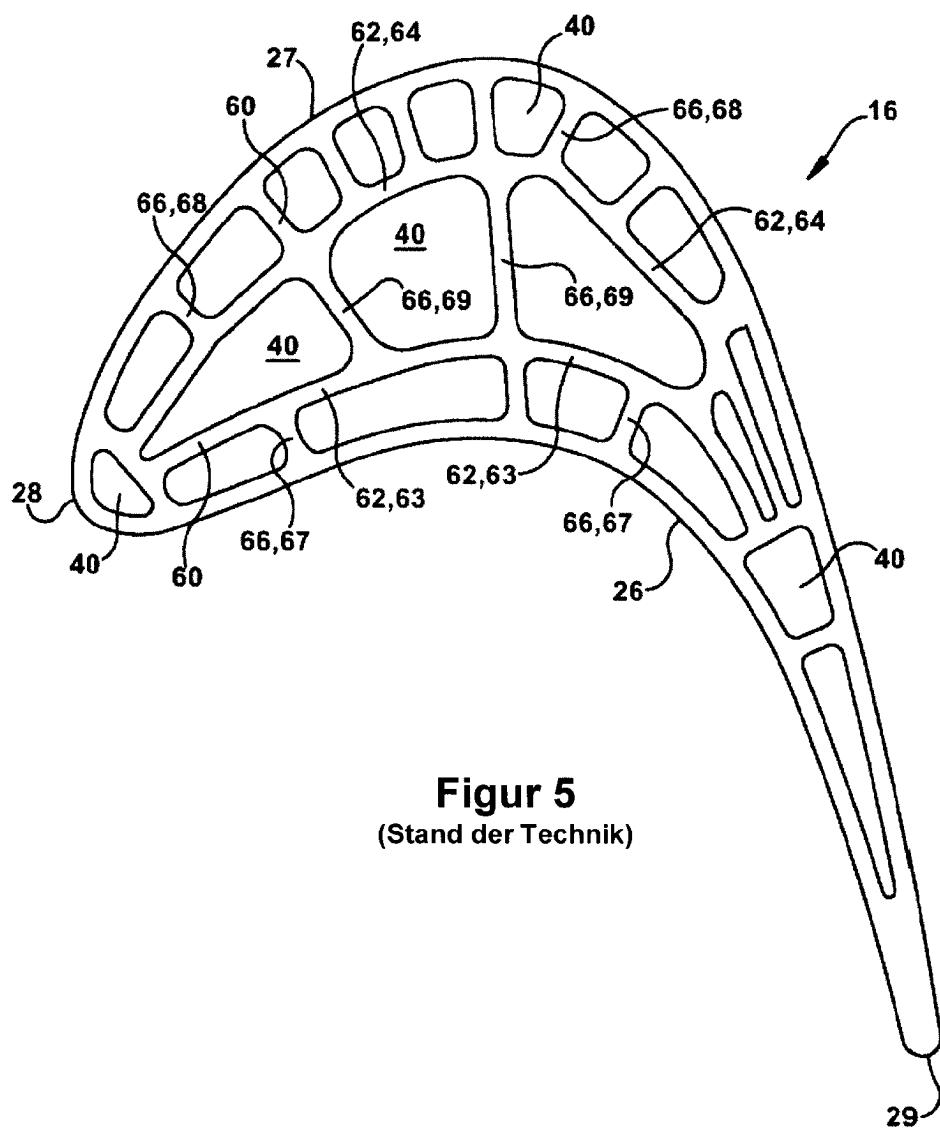


**Figur 2**  
(Stand der Technik)

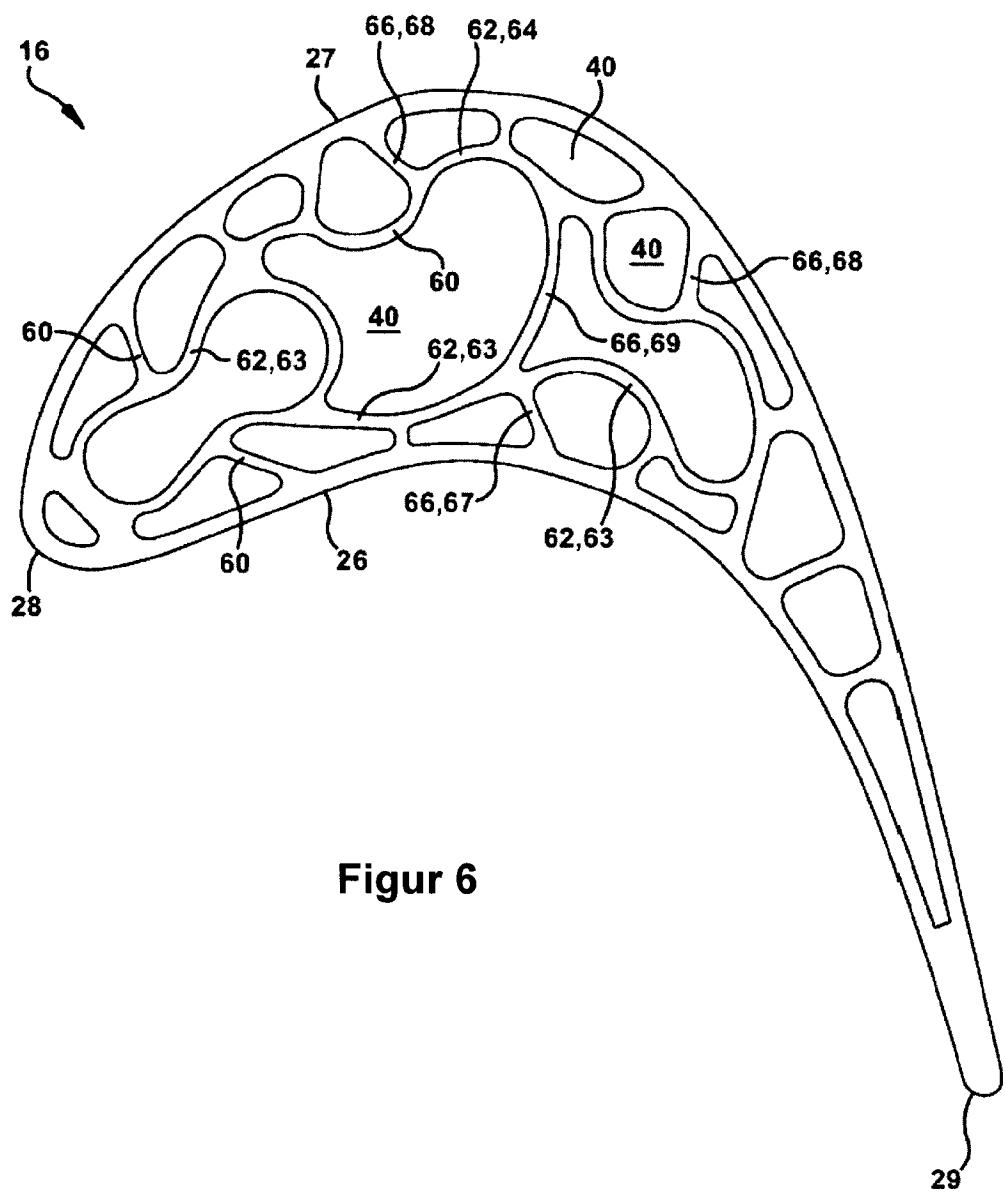




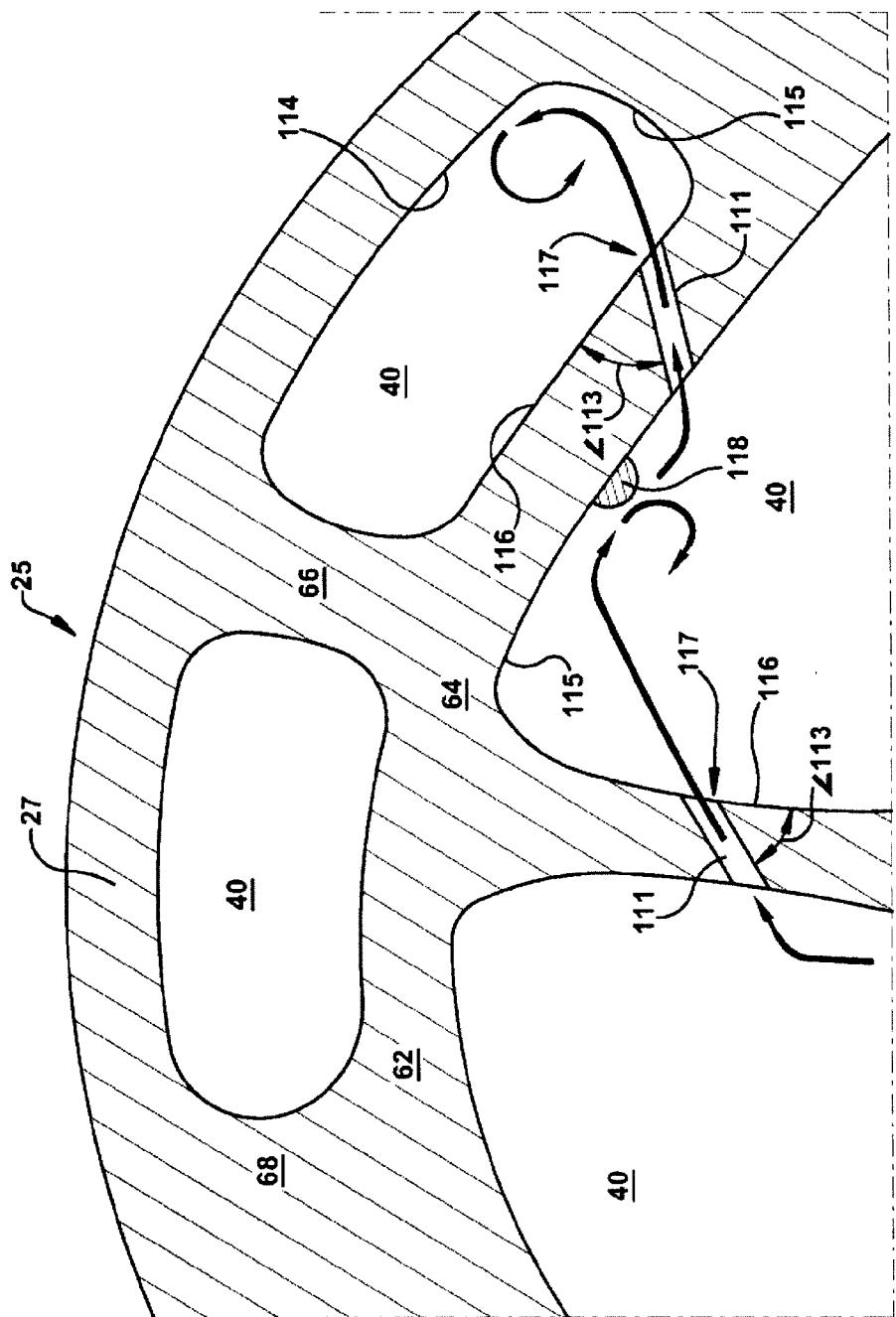
**Figur 4**  
(Stand der Technik)



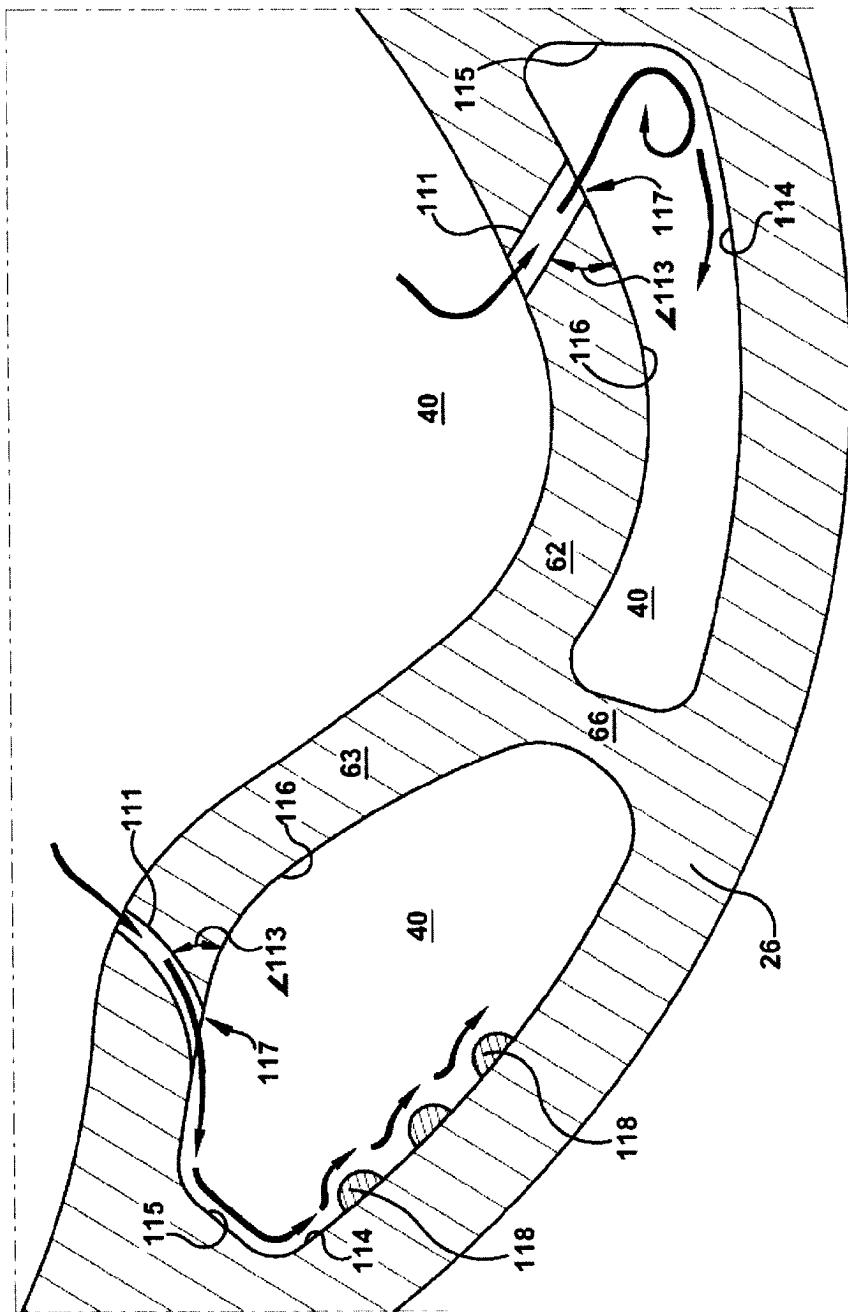
**Figur 5**  
(Stand der Technik)



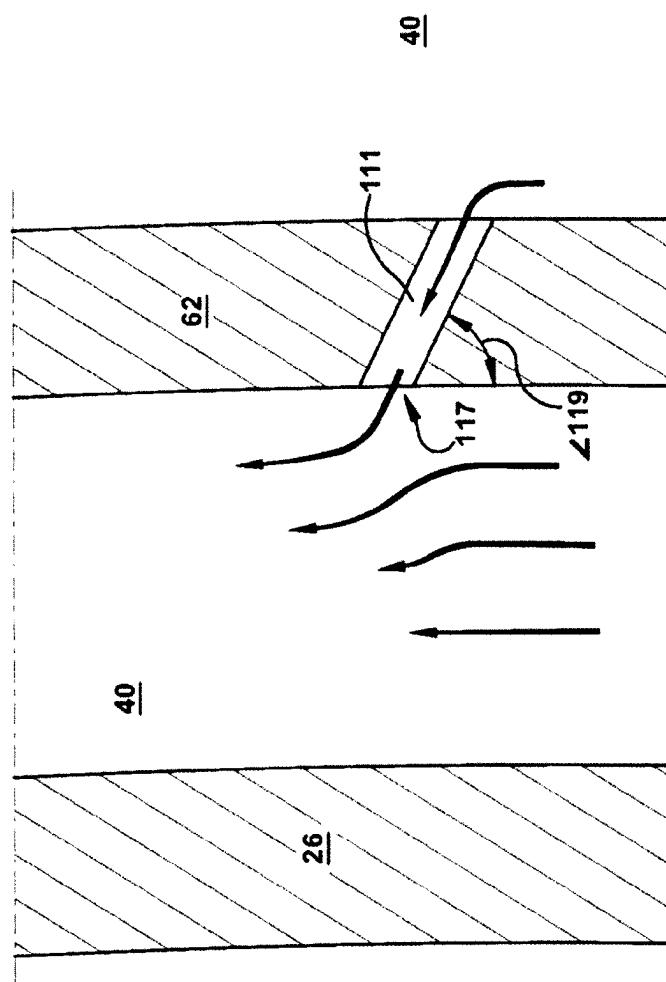
**Figur 6**



Figur 7



Figur 8



Figur 9