

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 709 089 A2

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

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 02043/14

(71) Anmelder:
General Electric Company, 1 River Road
Schenectady, New York 12345 (US)

(22) Anmeldedatum: 29.12.2014

(72) Erfinder:
Stephen Paul Wassynger, Greenville, SC 29615 (US)
Aaron Ezekiel Smith, Greenville, SC 29615 (US)

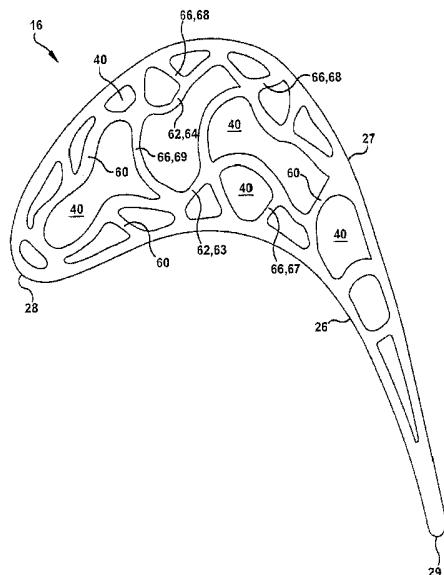
(43) Anmeldung veröffentlicht: 30.06.2015

(74) Vertreter:
R.A. Egli & Co, Patentanwälte, Baarerstrasse 14
6300 Zug (CH)

(30) Priorität: 30.12.2013 US 14/143,599

(54) Turbinenschaufel mit einer Kammer zur Aufnahme eines Kühlmittelstroms.

(57) Turbinenschaufel (16) mit einem Schaufelblatt, das von einer konkav geformten druckseitigen Aussenwand (26) und einer konvex geformten saugseitigen Aussenwand (27) definiert wird, die an Vorder- und Hinterkanten (28, 29) entlang miteinander verbunden sind und dazwischen eine radial verlaufende Kammer zur Aufnahme eines Kühlmittelstroms bilden. Die Turbinenschaufel (16) beinhaltet eine Rippenanordnung (60, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 49), die die Kammer unterteilt und einen Strömungsdurchgang mit einer ersten Seite und einer zweiten Seite definiert. Der Strömungsdurchgang beinhaltet ein Loch, das durch die erste Seite ausgebildet ist. Eine Projektion einer Mittelachse des Lochs durch den Strömungsdurchgang definiert einen Anprallpunkt auf der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs, und auf der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs ist eine Rückschлагаussparung zum Fassen des Anprallpunkts positioniert.



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 Gasturbinemaschinen (im Folgenden «Gasturbinen») beinhalten einen Verdichter, eine Brennkammer und eine Turbine. Wie in der Technik gut bekannt ist, 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, umgewälzt 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] Es ist zu erkennen, dass der Wirkungsgrad von Gasturbinen mit steigenden Verbrennungstemperaturen zunimmt. 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 Kühleistung 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 Kühlmittellumwälzung bieten, welche den Kühlmittelwirkungsgrad verbessern.

[0005] Ein Faktor, der die Konstruktion von innen gekühlten 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 Kühleistung erreichen lässt, die Außenwände aber einen bedeutend höheren Grad an Wärmeausdehnung erfahren als die Innenwände. Diese unausgeglichene Ausweitung verursacht die Entwicklung von Belastungen an den Verbindungs punkten der Innenrippen und Außenwände, die eine Kurzeitermüdung 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.

KURZE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0006] Die vorliegende Anmeldung beschreibt daher eine Turbinenschaufel mit einem 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 eine Rippenanordnung beinhalten, die die Kammer unterteilt und einen Strömungsdurchgang mit einer ersten Seite und einer zweiten Seite definiert. Der Strömungsdurchgang kann ein Loch beinhalten, das durch die erste Seite ausgebildet ist. Eine Projektion einer Mittelachse des Lochs durch den Strömungsdurchgang kann einen Anprallpunkt auf der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs definieren. Auf der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs kann eine Rückschlagaussparung zum Fassen des Anprallpunkts positioniert sein.

[0007] Das Loch einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann von einer Mündung, die an einer Oberfläche der ersten Seite des Strömungsdurchgangs definiert wird, zu einem an einer Außenfläche des Schaufelblatts ausgebildeten Auslass verlaufen, wobei der Strömungsdurchgang einen wandnahen Strömungsdurchgang umfasst und wobei die Turbinenschaufel eine Turbinenlaufschaufel umfasst.

[0008] Das Loch einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann von einer Mündung, die an einer Oberfläche der ersten Seite definiert wird, in die erste Seite hinein verlaufen, wobei die Rückschlagaussparung von einer Mündung, die an einer Oberfläche der zweiten Seite definiert wird, in die zweite Seite hinein verläuft.

[0009] Die Mündung der Rückschlagaussparung einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine Querschnittfläche umfassen, die einer Querschnittfläche der Mündung des Lochs entspricht.

[0010] Die Mündung der Rückschlagaussparung einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine Querschnittfläche umfassen, die grösser als eine Querschnittfläche der Mündung des Lochs ist.

[0011] Das Profil der Mündung der Rückschlagaussparung einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann so angeordnet sein, dass es die gleiche Form wie ein Profil der Mündung der Rückschlagaussparung hat.

[0012] Die Rückschlagaussparung einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine Ausnehmung mit steilen Seiten umfassen, die einen Boden hat, wobei der Boden eine gekrümmte, konkave Form hat, und die Turbinenschaufel kann ferner eine Ausbeulung in einem benachbarten Strömungsdurchgang aufweisen, die zur Erhaltung der Mindestrippendicke um die Rückschlagaussparung angeordnet ist.

[0013] Die Mündung des Lochs und die Mündung der Rückschlagaussparung einer oben erwähnten Turbinenschaufel können beide kreisförmige Formen aufweisen.

[0014] Die erste Seite und die zweite Seite einer oben erwähnten Turbinenschaufel können einander entgegengesetzte Seiten des Strömungsdurchgangs umfassen.

[0015] Die erste Seite einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine druckseitige Aussenwand oder eine saugseitige Aussenwand des Schaufelblatts umfassen, wobei die zweite Seite eine Skelettliniенrippe aufweist.

[0016] Die Skelettliniенrippe weist ein welliges Profil auf, bei dem die Skelettliniенrippe einer oben erwähnten Turbinenschaufel wenigstens eine kontinuierliche hin- und hergehende «S»-Form beinhalten kann.

[0017] Die erste Seite und die zweite Seite einer oben erwähnten Turbinenschaufel können aneinander angrenzende Seiten des Strömungsdurchgangs umfassen.

[0018] Die erste Seite einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine druckseitige Aussenwand oder eine saugseitige Aussenwand umfassen, wobei die zweite Seite eine Querrippe umfasst.

[0019] Ein weiterer Aspekt der Erfindung 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 aufweist: eine Rippenanordnung, die die Kammer unterteilt und einen Strömungsdurchgang mit einer ersten Seite und einer zweiten Seite definiert, wobei die erste Seite ein Loch aufweist, wobei das Loch eine Mündung an einer Oberfläche der ersten Seite definiert und linear durch eine Wand der ersten Seite verläuft und eine Mittelachse definiert, wobei die zweite Seite eine Rückschlagaussparung aufweist, wobei die Rückschlagaussparung eine Mündung an einer Oberfläche der zweiten Seite definiert und in eine Wand der zweiten Seite in Richtung auf einen Boden verläuft, wobei eine Projektion einer Querschnittsform der Mündung des Lochs an einer Projektion der Mittelachse des Lochs entlang eine Aufschlagregion an der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs definiert und wobei die Mündung der Rückschlagaussparung der an der zweiten Seite definierten Aufschlagregion entspricht.

[0020] Die Mündung der Rückschlagaussparung der Schaufel kann eine Fläche umfassen, die knapp grösser als die Mündung des Lochs ist, wobei die Mündung der Rückschlagaussparung konzentrisch um die Aufschlagregion angeordnet ist und wobei die Rückschlagaussparung eine Ausnehmung mit steilen Seiten umfasst, die einen Boden hat, wobei der Boden eine gekrümmte, konkave Form hat.

[0021] Ein weiterer Aspekt der Erfindung 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 aufweist: eine Rippenanordnung, die die Kammer unterteilt und einen Strömungsdurchgang mit einer ersten Seite und einer zweiten Seite definiert, wobei die erste Seite Löcher aufweist, die an einer gemeinsamen Mittelachse entlang voneinander beabstandet sind, wobei jedes Loch eine durch es hindurch definierte Mittelachse aufweist, die, wenn durch den Strömungsdurchgang projiziert, einen Anprallpunkt an der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs definiert, und wobei die zweite Seite eine oder mehrere Rückschlagaussparungen aufweist, die positioniert sind, um jeden Anprallpunkt einzuschliessen.

[0022] Die eine oder mehreren Rückschlagaussparungen einer oben erwähnten Turbinenschaufel können eine Nut umfassen, die parallel zur Sammelachse der Löcher verläuft.

[0023] Die Breite der Nut der Rückschlagaussparung einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann so angeordnet sein, dass sie knapp grösser als eine Breite der Mündung jedes der Löcher ist.

[0024] Die erste Seite einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann wenigstens 10 radial voneinander beabstandete Löcher beinhalten, wobei die gemeinsame Achse der Löcher etwa linear und in einer radialen Richtung ausgerichtet ist, wobei die eine oder mehreren Rückschlagaussparungen eine kontinuierliche lineare Nut aufweisen, die in einer radialen Richtung ausgerichtet ist.

[0025] Die Nut der Rückschlagaussparung einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine mit steilen lateralen Seiten und einem gekrümmten, konkaven Boden umfassen.

[0026] 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

[0027] 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 dem 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 einer Turbinenlaufschaufel ist, die eine Innenwand- oder Rippenanordnung gemäss einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung hat,
- Fig. 8 eine Querschnittsansicht einer Turbinenlaufschaufel gemäss einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist,
- Fig. 9 eine Querschnittsansicht einer Turbinenlaufschaufel gemäss einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, und
- Fig. 10 eine Querschnittsansicht einer Turbinenlaufschaufel gemäss einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0028] 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.

[0029] 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 Turbinenmaschine 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 Mittellachse 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.

[0030] 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 Maschinentypen verwendet werden. Sofern nicht anders angegeben, ist nicht vorgesehen, dass die bereitgestellten Beispiele beschränkend sind.

[0031] 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 stromabwärtigen Turbinenabschnitt oder Turbine 13 gekoppelt ist, und einer zwischen dem Verdichter 11 und der Turbine 13 positionierten Brennkammer 12 ausgestaltet sein.

[0032] Fig. 2 veranschaulicht eine Ansicht eines beispielhaften mehrstufigen Axialverdichters 11, der in der Verbrennungsturbinenmaschine 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.

[0033] 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 d. in Fig. 3 dargestellten haben kann. Jede zusätzliche Stufe kann eine Reihe von Turbinenleitschaufeln 17 gefolgt von einer Reihe von Turbinenlaufschaufeln 16 beinhalten.

[0034] 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 das Arbeitsfluid bezeichnet werden kann, wird dann über die Turbinenlaufschaufeln 16 geleitet, wobei der Arbeitsfluidstrom die Drehung der Turbinenlaufschaufeln 16 um die Viel'. 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.

[0035] 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 Schwalbenschwanz beinhalten, der zum Einbau in einer entsprechenden Schwalbenschwanznut im Außenrand des Laufrads gestaltet ist. Die Wurzel 21 kann ferner einen Schaft beinhalten, der zwischen dem Schwalbenschwanz 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.)

[0036] 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.

[0037] 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.

[0038] 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.

[0039] 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 kühlernen 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.

[0040] 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 Skelettliniensrippe 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 Skelettliniensrippe 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 zu Kurzeitermüdungsproblemen, welche die Bauteillebensdauer verkürzen.

[0041] 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 angesichts dessen, wie sich Schaufelblätter während des Betriebs wärmebedingt ausdehnen.

[0042] 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 Skelettliniensrippen 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.

[0043] Fig. 6 bietet Querschnittsansichten einer Turbinenlaufschaufel 16 mit einer Innenwandanordnung gemäss Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. Speziell beinhaltet als 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 Zwischenverbindungen zum Bilden von Kühlkreisen sein können. Diese Strömungsdurchgänge 40 und die von ihnen gebildeten Kreise werden zum Leiten eines Kühlmittelstroms auf besondere Weise durch das Schaufelblatt 25 genutzt, 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 eine Rippenanordnung der vorliegenden Erfindung eine Skelettliniensrippe 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 der Fig. 6 haben). Eine Skelettliniensrippe 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 erstreckt. Diese Rippen werden als «Skelettliniensrippen» bezeichnet, weil der von ihnen beschriebene Weg etwa parallel zur Skelettlinie 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.

[0044] Das bzw. die mit dem Wellenprofil gestaltete Segment oder Länge der Skelettliniensrippe 62 kann in Abhängigkeit von Konstruktionskriterien variieren. In den gegebenen Beispielen erstreckt sich die wellige Skelettliniensrippe 62 gewöhnlich von einer Position nahe der Vorderkante 28 des Schaufelblatts 25 zu einer Position, die jenseits des Mittelpunkts der Skelettlinie des Schaufelblatts 25 liegt. Es ist zu beachten, dass der wellige Teil der Skelettliniensrippe 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, wie in Fig. 6 gezeigt, macht der wellige Teil der Skeletlinienrippe 62 in einer bevorzugten Ausführungsform 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 erkennen, dass auch kürzere Längen mit Leistungsvorteilen eingesetzt werden können, wie wellige Teile mit einer Länge von wenigstens 25 % der Skeletlinienrippe 62.

[0045] Es ist zu beachten, dass eine wellige Skeletlinienrippe 62 angesichts ihres gewundenen Profils einen Weg beschreibt, 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.

[0046] 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 eingesetzt werden kann.

[0047] 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 aufeinanderfolgende Segmente haben, in denen: ein erstes konkaves Segment in ein zweites konvexes Segment übergeht, das zweite konvexe Segment in ein drittes konkaves Segment übergeht und das dritte konkav Segment in ein viertes konvexes Segment übergeht.

[0048] Gemäss 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 gekrümmmt sein, um den Belastungsweg weiter zu erweichen und um mit den Rippen 62 und den durch sie verbundenen Aussenwänden 26, 27 nachgiebige Verbindungen herzustellen. Während die normalen linearen Rippenkonstruktionen hohe Belastung und Kurzzeitermüdung aufgrund des thermischen Konflikts zwischen den inneren Kühlraumwänden und den viel heisseren Aussenwänden erfahren, sieht die vorliegende Erfindung einen federartigen Aufbau vor, der Belastungskonzentrationen besser verstreuken kann, was, wie hierin vorgesehen, zur Verbesserung der Lebensdauer des Bauteils verwendet werden kann.

[0049] Fig. 7, jetzt Bezug auf einen weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung nehmend, veranschaulicht eine Querschnittsansicht eines Schaufelblatts, das eine Innenwand- oder Rippenanordnung hat, in welcher dieser andere Aspekt der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann. Wie Fig. 5 ist die Anordnung von Fig. 7 ein konventionelles Innengebilde, bei dem grosse Strömungsdurchgänge 40 zwischen der Vorderkante 28 und der Hinterkante 29 des Schaufelblatts 25 axial stapelförmig angeordnet sind. Diese zusätzliche innere Schaufelblattanordnung ist als eine zusätzliche beispielhafte Konfiguration vorgesehen, in der Aspekte der vorliegenden Erfindung genutzt werden können, und wird in Bezug auf Fig. 8 weiter besprochen.

[0050] Fachkundige Personen werden erkennen, dass bei der Verwendung gewisser Herstellungstechnologien zum Bohren von Öffnungen in die Oberfläche von Schaufelblättern mit der Absicht, sie mit bereits ausgebildeten inneren Kühlungsdurchgängen zu verbinden, «Rückschlag» ein wichtiger Faktor ist. Das heisst, gewisse Bohrtechniken, wie Wasserstrahl, Strahlmittelstrahl oder dergleichen, sind dahingehend begrenzt, wie sie auf Schaufelblätter angewendet werden können, weil die meisten Strömungsdurchgänge nicht den nötigen Freiraum haben, um zu verhüten, dass derartige Bohrtechniken auf eine Rückwand des Strömungsdurchgangs (d.h. die Wand gegenüber dem Loch, welches durch das Bohren im Strömungsdurchgang gebildet würde) aufschlagen und sie beschädigen, wenn die Verbindung zu diesem Strömungsdurchgang schliesslich hergestellt wird, was erklärt, warum so oft der Begriff «Rückschlag» verwendet wird, um dieses Problem

zu beschreiben. Dieses Problem bleibt weiterhin ein Anliegen und beschränkt oft die Wirtschaftlichkeit des Versehens von Schaufelblättern mit Kühlungsmerkmalen, weil effizientere Bohrverfahren nicht verwendet werden können. Dieses Anliegen ist problematischer, wenn die für derartige Heissgasbauteile typische Wärmedämmenschicht bereits aufgetragen wurde, da Rückschlag derartige Beschichtungen leicht beschädigen kann. Wie unten beschrieben, beinhaltet die vorliegende Erfindung das Bilden von «Rückschlagaussparungen», so dass der nötige Freiraum verfügbar ist, der die Verwendung effizienterer Bohrtechniken ermöglichen würde. Fachkundige Personen werden wissen, dass vom Formen von inneren konvektiven Hohlräumen, wie unten beschrieben, angesichts der allgemeinen Beschränkungen, die den zur Herstellung von Turbinenschaufeln verwendeten Giessprozessen eigen sind, abgeraten wurde und weiterhin wird. Dementsprechend bleiben die Merkmale der vorliegenden Erfindung unerprobt, obwohl ihr Wert, wie unten gezeigt, offensichtlich wird, wenn ihre Nutzung erst einmal eingehend betrachtet wird. Wie zu erkennen ist, sieht die vorliegende Erfindung ein Formen der Konvektionshohlräume der Turbinenschaufelblätter vor, so dass das Rückschlagrisiko effizient gemildert wird.

[0051] In den Fig. 8 bis 10, auf die jetzt Bezug genommen wird, werden vergrösserte Querschnittsansichten von inneren Schaufelblattanordnungen bereitgestellt, die Ausführungsformen einer Rückschlagaussparung 56 gemäss der vorliegenden Erfindung beinhalten. Es ist zu erkennen, dass jede der Figuren zwei beispielhafte Ausführungsformen einer Rückschlagaussparung 56 beinhaltet. Im Allgemeinen ist eine Rückschlagaussparung 56, wie hierin verwendet, eine abrupte Ausnehmung, die an einer Seite oder Wand des Strömungsdurchgangs 40 relativ zu einem Loch 57 positioniert ist. Die Rückschlagaussparung 56 ist vorgesehen, um das Risiko eines schädlichen Rückschlags während der Ausgestaltung des entsprechenden Lochs 57 zu mildern. Gewöhnlich wird die Rückschlagaussparung 56 an einer Wand gebildet, die der Wand gegenüberliegt, in der das Loch 57 ausgebildet wird. Je nach der Ausrichtung des Lochs 57 und der Form des Strömungsdurchgangs 40 kann die Rückschlagaussparung 56 aber auch an einer Seite des Strömungsdurchgangs 40 gebildet werden, die an die Seite angrenzt, in der das Loch 57 gebildet wird. Es ist zu erkennen, dass die Beispiele für jeden dieser Anordnungstypen in Fig. 9 bereitgestellt sind, bei denen, wie an der Saugseite des Schaufelblatts 25 entlang veranschaulicht, die Rückschlagaussparung 56 an einer Seite des Strömungsdurchgangs 40 gebildet ist, die an die Seite angrenzt, die das Loch 57 beinhaltet. An der Druckseite des Schaufelblatts in Fig. 9 entlang ist die Rückschlagaussparung 56 an einer Seite des Strömungsdurchgangs 40 ausgebildet, die der Seite gegenüberliegt, die das Loch 57 beinhaltet. Wie in beiden Fällen ist das Loch 57 gewöhnlich ein Durchgang, der den Strömungsdurchgang 40 in Strömungsverbindung mit einem an der Aussenfläche des Schaufelblatts 25 gebildeten Auslasses setzt. Von daher verläuft das Loch 57 gewöhnlich durch die druckseitige Aussenwand 26 oder die saugseitige Aussenwand 27.

[0052] Die jeweilige Positionierung der Rückschlagaussparung 56 relativ zu einem entsprechenden Loch 57 lässt sich wie folgt beschreiben. Das Loch 57 definiert eine Mittelachse 58, die verwendet werden kann, um einen Anprallpunkt an einer gegenüberliegenden Wand zu definieren. Speziell kann die Mittelachse 58 des Lochs 57 von dem Loch 57 weg und durch den Strömungsdurchgang 40 projiziert werden, bis sie eine weitere Oberfläche des Strömungsdurchgangs 40 schneidet. Es ist zu erkennen, dass die Rückschlagaussparung 56 dann relativ zu dem Punkt positioniert werden kann, an dem die projizierte Mittelachse 58 diese andere Oberfläche schneidet, der ein «Anprallpunkt» genannt werden kann. Es ist zu beachten, dass diese Positionierungsmethode effektiv ist, weil die projizierte Mittelachse 58 des Lochs 57 eine genaue Anzeige hinsichtlich der Fläche im Strömungsdurchgang 40, wo das Rückschlagrisiko am stärksten ausgeprägt ist, wenn das relevante Loch 57 mit den oben besprochenen Bohrmethoden gebildet worden wäre, ergibt. Gemäss gewissen Ausführungsformen, wie unten besprochen, kann das Profil des Lochs 57 an der projizierten Mittelachse 58 entlang projiziert werden und die Region, die das Profil auf der anderen Oberfläche des Strömungsdurchgangs 40 schneidet, kann genutzt werden, um die Rückschlagaussparung 56 in Grösse und Form wirksam zu gestalten.

[0053] Die Grösse und das Profil der Rückschlagaussparung 56 können relativ zur Grösse und zum Profil des Lochs 57 angeordnet werden. Wie angedeutet, kann das Loch 57 sich von einer Mündung, die an einer Oberfläche von einer der Seiten des Strömungsdurchgangs 40 definiert wird, in eine der Aussenwände 26, 27 des Schaufelblatts 25 hinein erstrecken. Von der Mündung verläuft das Loch 57 durch die Aussenwand 26, 27 in Richtung auf einen Auslass an der Aussenfläche des Schaufelblatts 25. Die Rückschlagaussparung kann sich auf einigermassen ähnliche Weise von einer an einer gegenüberliegenden Seite des Strömungsdurchgangs 40 gebildeten Mündung ein kurzes Stück weit in diese Wand hinein erstrecken, wo sie, anders als das Loch 57, am Boden der Aussparung als Sackloch endet. Gemäss den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung kann die Mündung der Rückschlagaussparung 56 mit einer Querschnittsfläche angeordnet sein, die einer Querschnittsfläche der Mündung des Lochs 57 entspricht. In gewissen Ausführungsformen ist die Mündung der Rückschlagaussparung 56 mit einer Querschnittsfläche angeordnet, die grösser oder knapp grösser als eine Querschnittsfläche der Mündung des Lochs 57 ist. Ausserdem kann die Form des Profils der Mündung der Rückschlagaussparung 56 so angeordnet sein, dass sie die gleiche Form wie die Form des Profils der Mündung der Rückschlagaussparung 56 hat. In einer bevorzugten Ausführungsform weisen die Mündung des Lochs 57 und die Mündung der Rückschlagaussparung 56 beide eine kreisförmige Form oder ein kreisförmiges Profil auf. Die Rückschlagaussparung 56 kann als eine Ausnehmung mit steilen Seiten angeordnet sein. Der Boden der Rückschlagaussparung 56, wie in den Figuren angedeutet, kann eine gekrümmte, konkave Form haben.

[0054] Wie in den Fig. 8 bis 10 angedeutet, beinhalten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung das Bilden der Rückschlagaussparung 56 in verschiedenen Regionen des Schaufelblatts 25. Wie ebenfalls veranschaulicht, kann die Rückschlagaussparung in verschiedenen Typen von Innenanordnungen eingesetzt werden, einschliesslich der konventionellen Anordnungen von Fig. 8 und 9 sowie in Anordnungen, die Rippen mit welligen Profilen beinhalten, wie in Fig. 10

veranschaulicht. Das Loch 57 kann entweder durch die druckseitige Aussenwand 26 oder die saugseitige Aussenwand 27 ausgebildet sein. In derartigen Fällen kann die Rückschlagaussparung 56 entweder an einer Skelettlinienrippe 62 oder einer Querrippe 66 ausgebildet sein. Wie erwähnt, kann die Skelettlinienrippe 62 ein welliges Profil beinhalten, wie es in der obigen Besprechung definiert wird.

[0055] Gemäss gewissen Ausführungsformen, wie in Fig. 10 veranschaulicht, kann in einem benachbarten Strömungsdurchgang 40 eine Ausbeulung 59 vorgesehen werden, so dass eine Mindestrippendicke erhalten bleibt. Die Ausbeulung 59, wie angedeutet, kann auch relativ zur Mittelachse 58 des Lochs 57 positioniert sein.

[0056] Wie ebenfalls in den Fig. 8 bis 10 dargestellt, beinhalten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung eine Rückschlagaussparung 56, die als eine längliche Nut ausgebildet ist. In derartigen Fällen kann eine Anzahl von Löchern 57 an einer gemeinsamen Achse entlang voneinander beabstandet angeordnet sein und eine Rückschlagaussparung 56 als eine der gemeinsamen Achse der Löcher 75 entsprechende Nut ausgebildet sein. Die Breite der Nut der Rückschlagaussparung 56 kann knapp grösser als eine Breite der Mündung von jedem der Löcher 57 angeordnet sein. Die Breite der Nut der Rückschlagaussparung kann auch variabel gemacht werden, so dass ihre breiteren Teile mit den Stellen der Löcher 57 zusammenfallen. In einer bevorzugten Ausführungsform definieren wenigstens zehn radial voneinander beabstandete Löcher 57 eine gemeinsame Achse, die etwa linear und in einer radialen Richtung ausgerichtet ist. In diesem Fall ist eine Rückschlagaussparung 56 als entsprechende lineare Nut ausgebildet, die ebenfalls in der radialen Richtung ausgerichtet ist. Die Nut der Rückschlagaussparung 56 kann als eine längliche Ausnehmung ausgebildet sein, die steile laterale Seiten und einen gekrümmten, konkaven Boden hat.

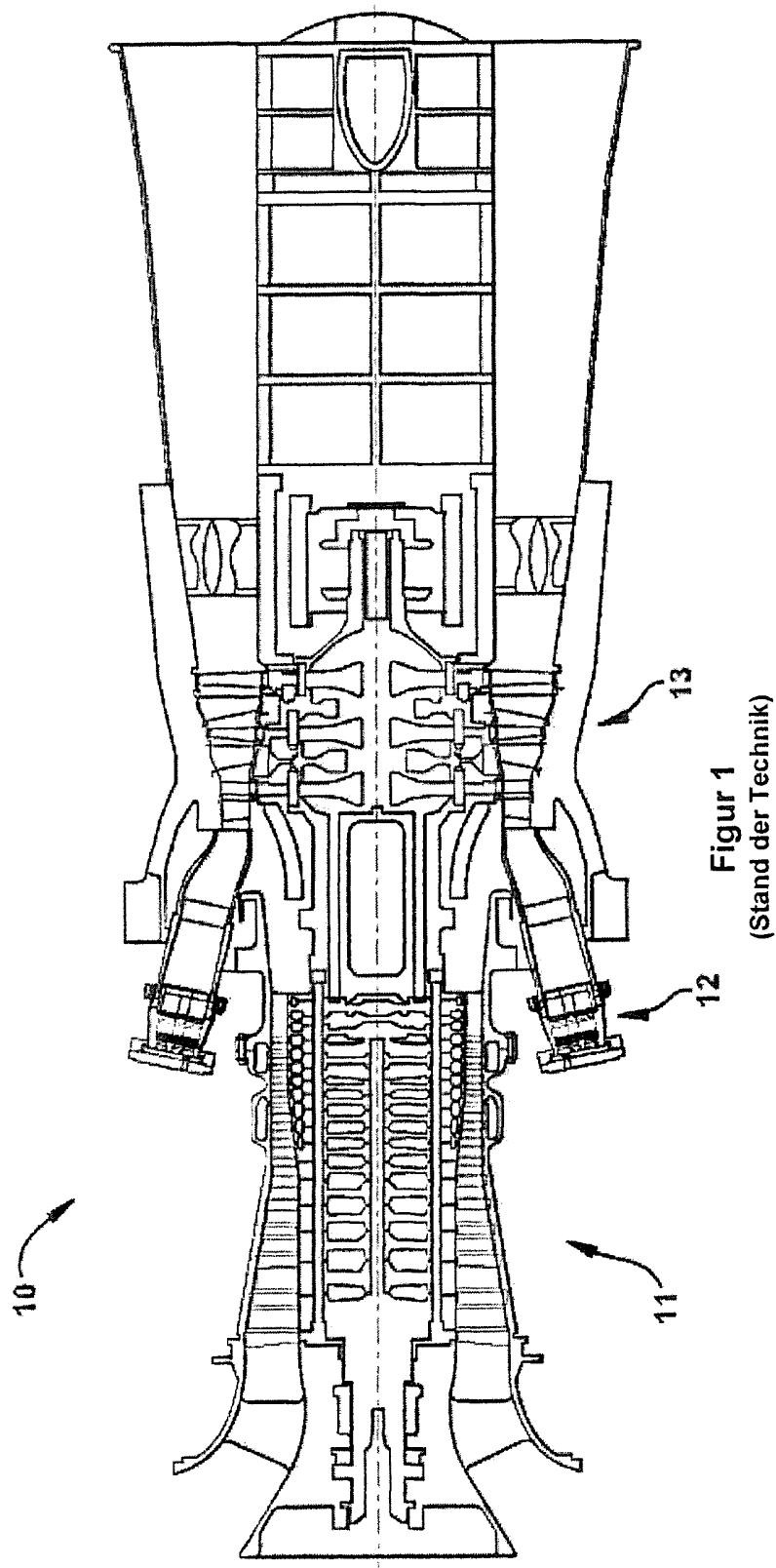
[0057] Wie der Durchschnittsfachmann erkennt, können die vielen verschiedenen Merkmale und Konfigurationen, die oben in Bezug auf die mehreren beispielhaften Ausführungsformen beschrieben werden, des Weiteren selektiv angewendet werden, um die anderen möglichen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zu bilden. 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. Ausserdem können fachkundige Personen anhand der obigen Beschreibung mehrerer beispielhafter Ausführungsformen der Erfindung Verbesserungen, Änderungen und Modifikationen erkennen. Es ist vorgesehen, dass derartige Verbesserungen, Änderungen und Modifikationen innerhalb der Fähigkeiten der Technik ebenfalls von den angehängten Ansprüchen abgedeckt werden. Ferner sollte es offensichtlich sein, dass das Vorangehende sich nur auf die beschriebenen Ausführungsformen der vorliegenden Patentanmeldung bezieht und dass hierin zahlreiche Änderungen und Modifikationen vorgenommen werden können, ohne vom Sinn und Umfang der Patentanmeldung, wie sie von den folgenden Ansprüchen und ihren Äquivalenten definiert wird, abzuweichen.

[0058] Turbinenschaufel mit einem 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 eine Rippenanordnung beinhalten, die die Kammer unterteilt und einen Strömungsdurchgang mit einer ersten Seite und einer zweiten Seite definiert. Der Strömungsdurchgang kann ein Loch beinhalten, das durch die erste Seite ausgebildet ist. Eine Projektion einer Mittelachse des Lochs durch den Strömungsdurchgang kann einen Anprallpunkt auf der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs definieren und auf der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs kann eine Rückschlagaussparung zum Fassen des Anprallpunkts positioniert sein.

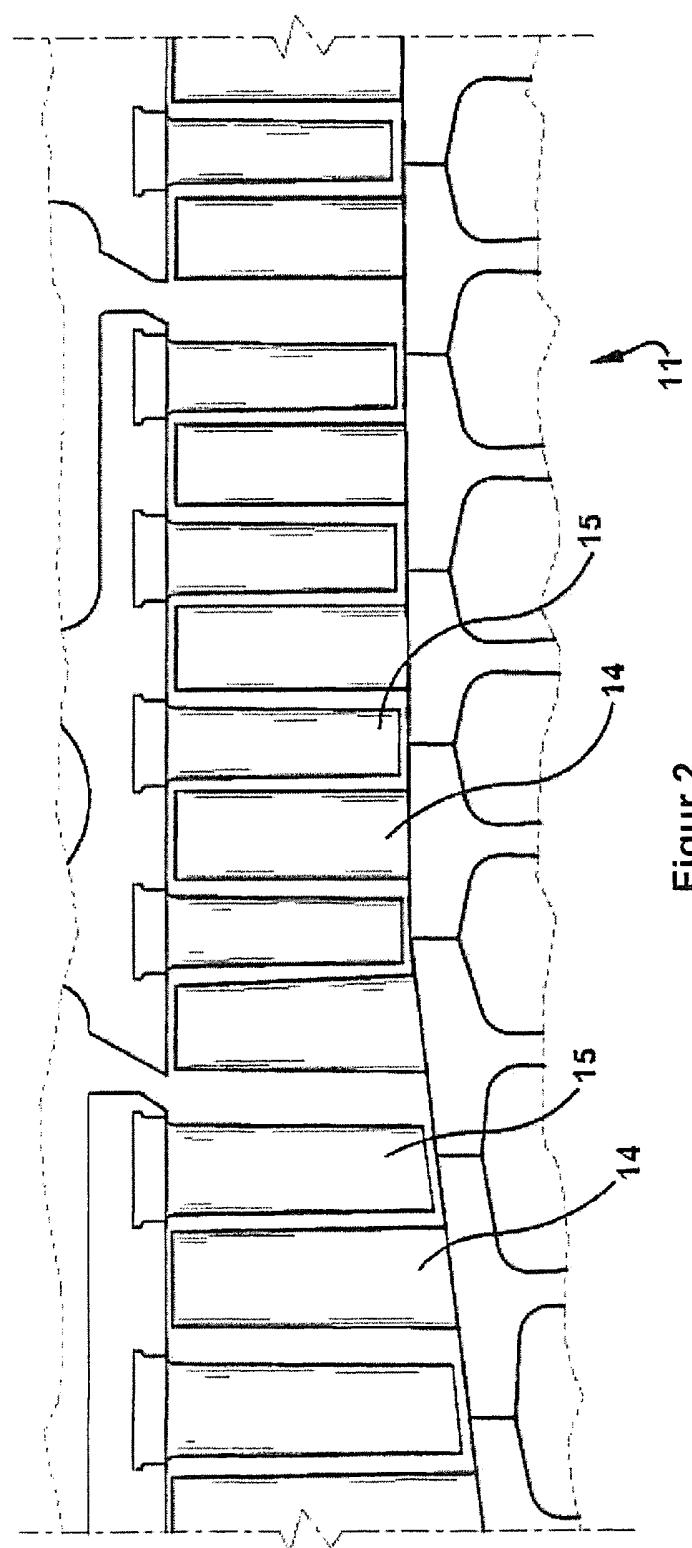
Patentansprüche

1. Turbinenschaufel mit einem 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, wobei die Turbinenschaufel ferner Folgendes aufweist:
eine Rippenanordnung, die die Kammer unterteilt und einen Strömungsdurchgang mit einer ersten Seite und einer zweiten Seite definiert,
wobei der Strömungsdurchgang ein Loch beinhaltet, das durch die erste Seite ausgebildet ist,
wobei eine Projektion einer Mittelachse des Lochs durch den Strömungsdurchgang einen Anprallpunkt auf der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs definiert und
wobei auf der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs eine Rückschlagaussparung zum Fassen des Anprallpunkts positioniert ist.
2. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, wobei das Loch von einer Mündung, die an einer Oberfläche der ersten Seite des Strömungsdurchgangs definiert wird, zu einem an einer Aussenfläche des Schaufelblatts ausgebildeten Auslass des Schaufelblatts verläuft,
wobei der Strömungsdurchgang einen wandnahen Strömungsdurchgang umfasst und
wobei die Turbinenschaufel eine Turbinenlaufschaufel umfasst und/oder wobei das Loch von einer Mündung, die an einer Oberfläche der ersten Seite definiert wird, in die erste Seite hinein verläuft, und

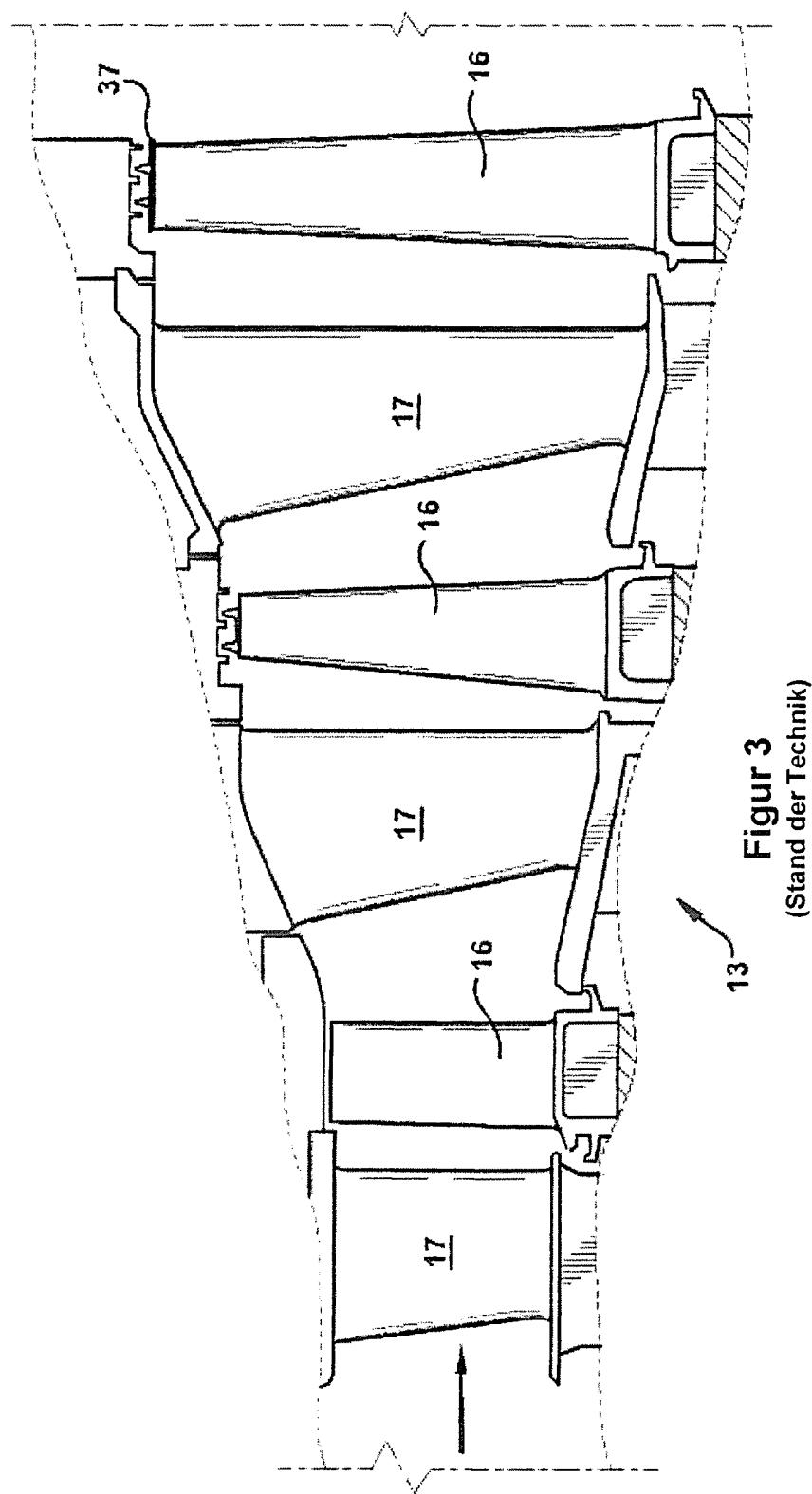
- wobei die Rückschlagaussparung von einer Mündung, die an einer Oberfläche der zweiten Seite definiert wird, in die zweite Seite hinein verläuft.
- 3. Turbinenschaufel nach Anspruch 2, wobei die Mündung der Rückschlagaussparung eine Querschnittfläche umfasst, die einer Querschnittfläche der Mündung des Lochs entspricht, und/oder wobei die Mündung der Rückschlagaussparung eine Querschnittfläche umfasst, die grösser als eine Querschnittfläche der Mündung des Lochs ist.
 - 4. Turbinenschaufel nach Anspruch 2, wobei ein Profil der Mündung der Rückschlagaussparung so angeordnet ist, dass es die gleiche Form wie ein Profil der Mündung der Rückschlagaussparung hat, und/oder wobei die Rückschlagaussparung eine Ausnehmung mit steilen Seiten umfasst, die einen Boden hat, wobei der Boden eine gekrümmte, konkav Form hat,
wobei sie ferner eine Ausbeulung in einem benachbarten Strömungsdurchgang aufweist, die zur Erhaltung der Mindestrippendicke um die Rückschlagaussparung angeordnet ist, und/oder wobei die Mündung des Lochs und die Mündung der Rückschlagaussparung beide kreisförmige Formen aufweisen.
 - 5. Turbinenschaufel nach Anspruch 2, wobei die erste Seite und die zweite Seite einander entgegengesetzte Seiten des Strömungsdurchgangs umfassen.
 - 6. Turbinenschaufel nach Anspruch 5, wobei die erste Seite eine druckseitige Aussenwand oder eine saugseitige Aussenwand des Schaufelblatts umfasst, und
wobei die zweite Seite eine Skelettlinienrippe aufweist.
 - 7. Turbinenschaufel nach Anspruch 6, wobei die Skelettlinienrippe ein welliges Profil auf, bei dem die Skelettlinienrippe wenigstens eine kontinuierliche hin- und hergehende «S»-Form beinhaltet.
 - 8. Turbinenschaufel nach Anspruch 2, wobei die erste Seite und die zweite angrenzende Seiten des Strömungsdurchgangs umfassen und/oder wobei die erste Seite eine druckseitige Aussenwand oder eine saugseitige Aussenwand umfasst, und
wobei die zweite Seite eine Querrippe umfasst.
 - 9. 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 aufweist:
eine Rippenanordnung, die die Kammer unterteilt und einen Strömungsdurchgang mit einer ersten Seite und einer zweiten Seite definiert,
wobei die erste Seite ein Loch aufweist, wobei das Loch eine Mündung an einer Oberfläche der ersten Seite definiert und linear durch eine Wand der ersten Seite verläuft und eine Mittelachse definiert,
wobei die zweite Seite eine Rückschlagaussparung aufweist, wobei die Rückschlagaussparung eine Mündung an einer Oberfläche der zweiten Seite definiert und in
eine Wand der zweiten Seite in Richtung auf einen Boden verläuft,
wobei eine Projektion einer Querschnittsform der Mündung des Lochs an einer Projektion der Mittelachse des Lochs entlang eine Aufschlagregion an der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs definiert und
wobei die Mündung der Rückschlagaussparung der Aufschlagregion an der zweiten Seite entspricht.
 - 10. 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 aufweist:
eine Rippenanordnung, die die Kammer unterteilt und einen Strömungsdurchgang mit einer ersten Seite und einer zweiten Seite definiert,
wobei die erste Seite Löcher aufweist, die an einer gemeinsamen Mittelachse entlang voneinander beabstandet sind,
wobei jedes Loch eine durch es hindurch definierte Mittelachse aufweist, die, wenn durch den Strömungsdurchgang projiziert, einen Anprallpunkt an der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs definiert, und
wobei die zweite Seite eine oder mehrere Rückschlagaussparungen aufweist, die positioniert sind, um jeden Anprallpunkt einzuschliessen.



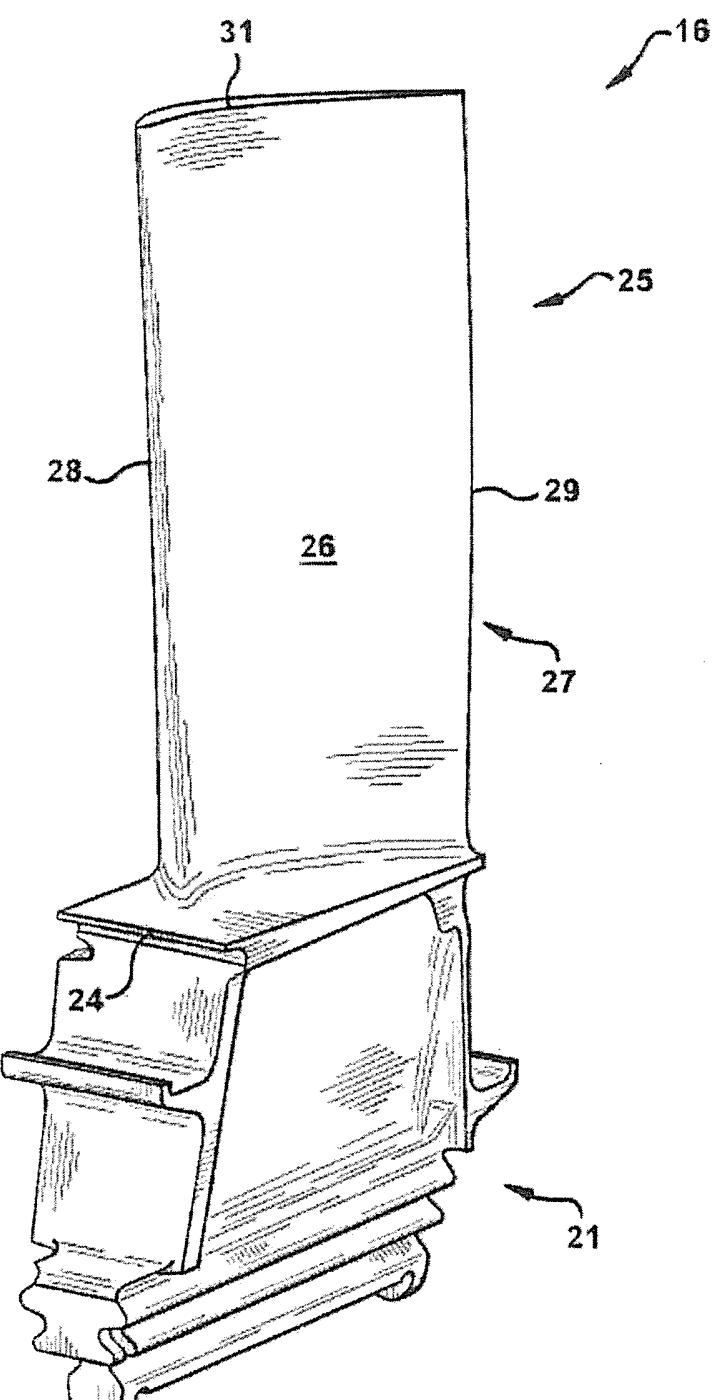
Figur 1
(Stand der Technik)



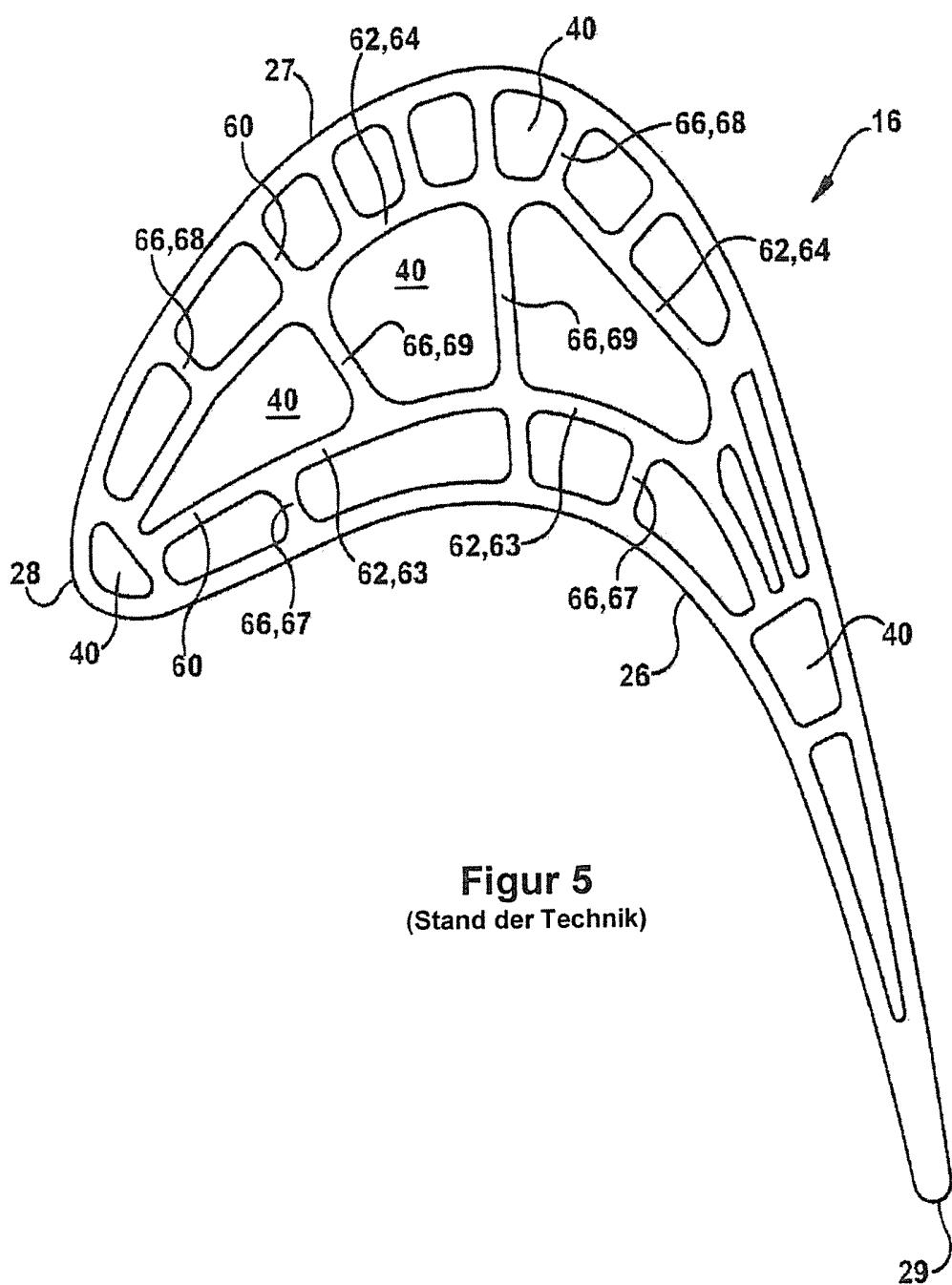
Figur 2
(Stand der Technik)



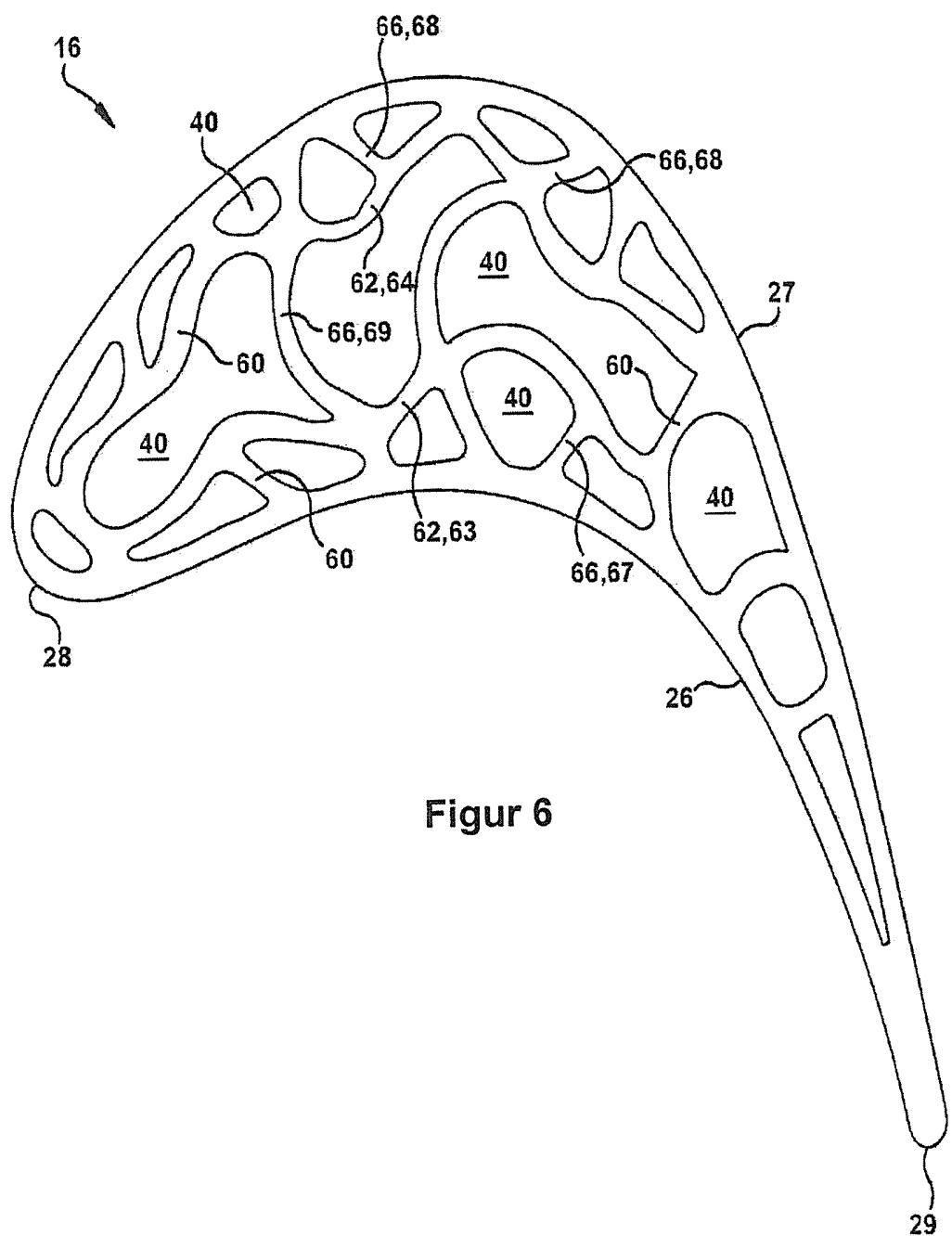
Figur 3
(Stand der Technik)



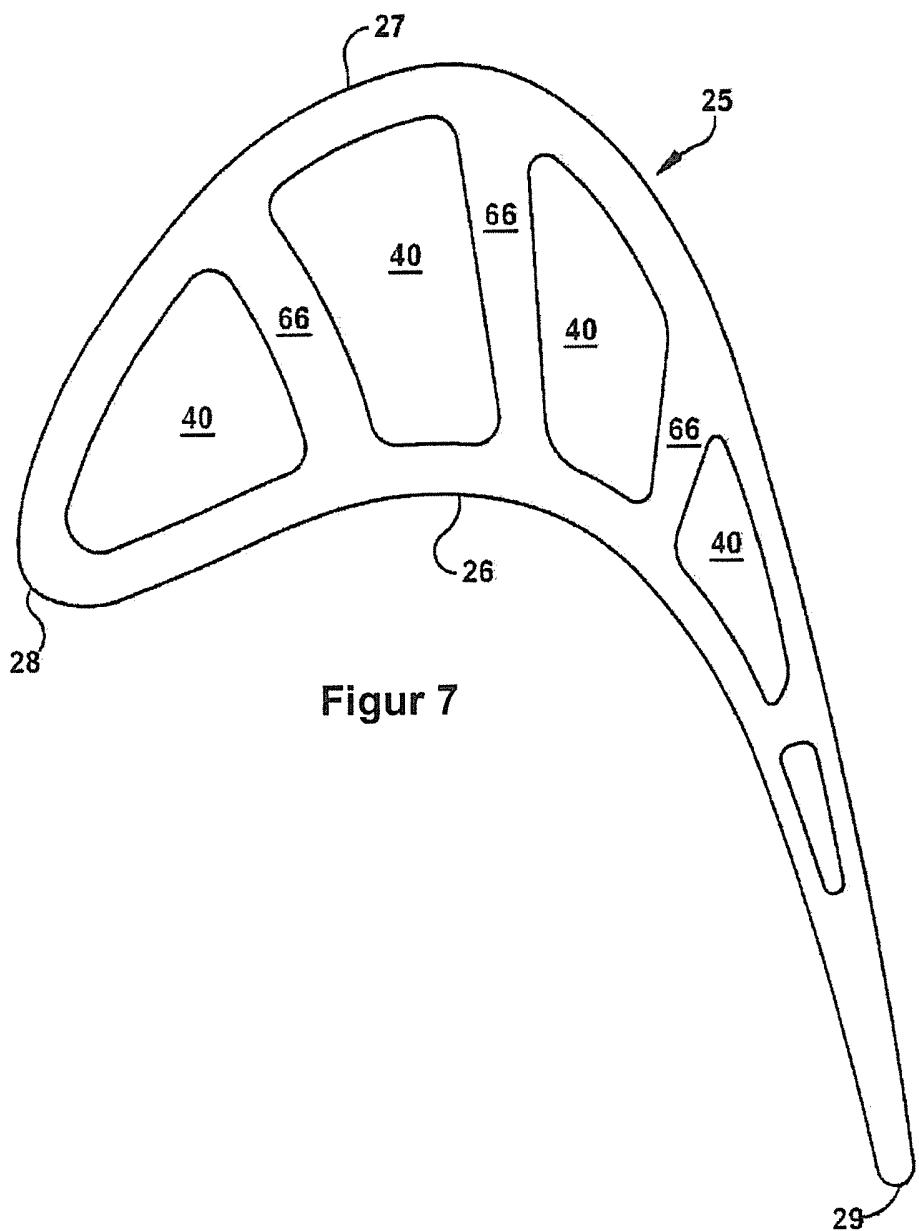
Figur 4
(Stand der Technik)



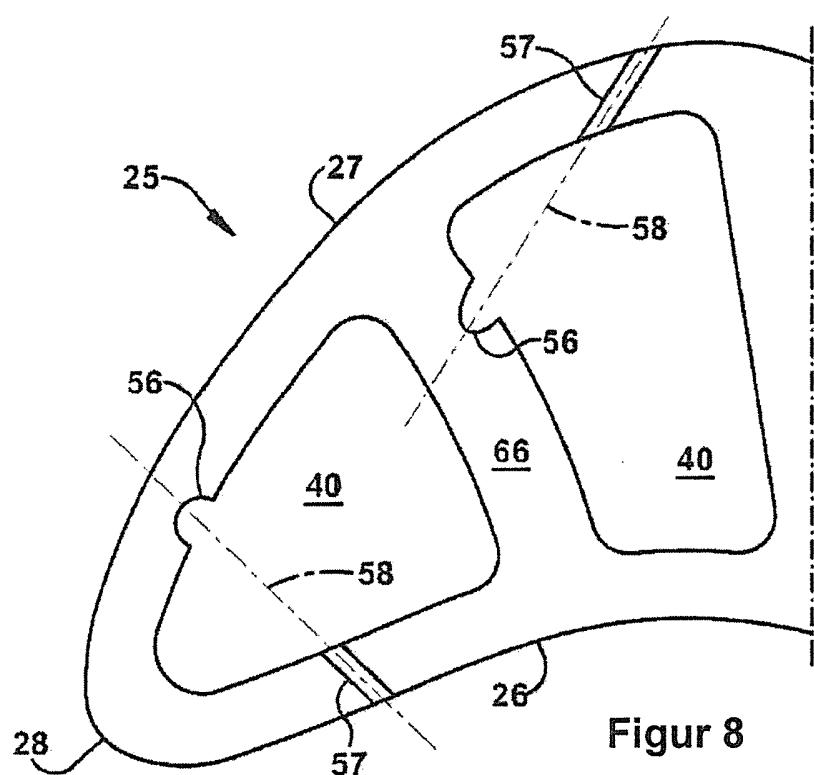
Figur 5
(Stand der Technik)



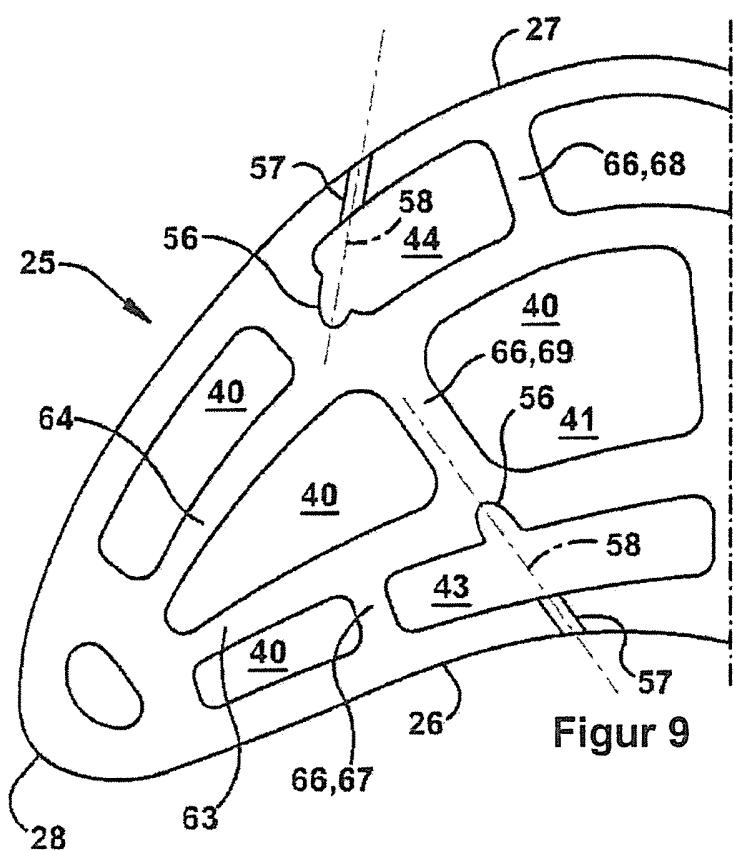
Figur 6



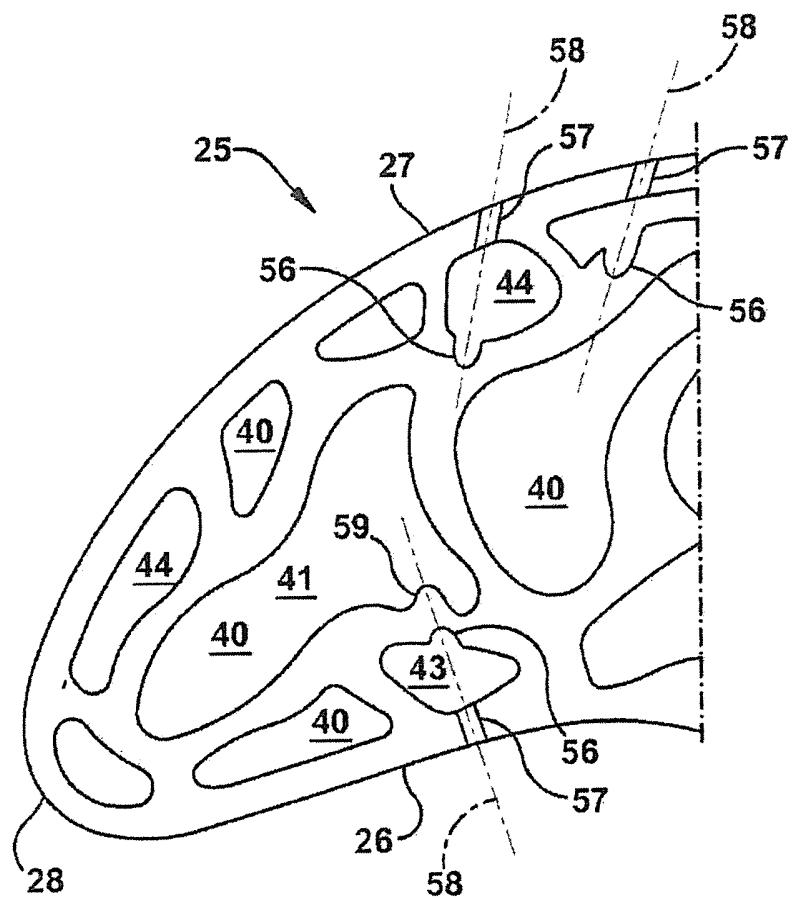
Figur 7



Figur 8



Figur 9



Figur 10