



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH** **709 090 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: 02045/14

(22) Anmeldedatum: 29.12.2014

(43) Anmeldung veröffentlicht: 30.06.2015

(30) Priorität: 30.12.2013 US 14/143,587

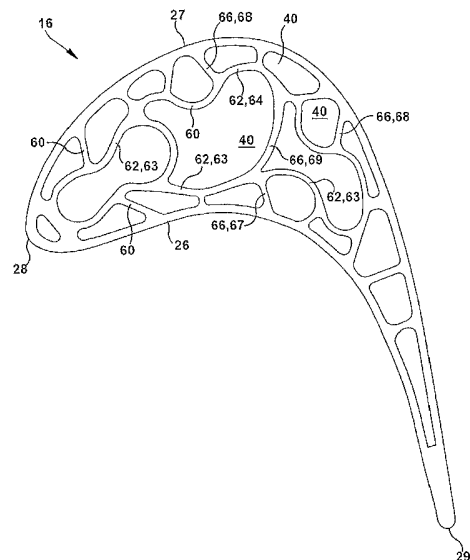
(71) Anmelder:  
General Electric Company, 1 River Road  
Schenectady, New York 12345 (US)

(72) Erfinder:  
Aaron Ezekiel Smith, Greenville, SC 29615 (US)  
Stanley Frank Simpson, Greenville, SC 29615 (US)  
Lisa Anne Wichmann, Atlanta, GA 30339 (US)

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

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

(57) Eine Turbinenschaufel (16), die ein Schaufelblatt beinhaltet, 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. Die Turbinenschaufel beinhaltet ferner eine Rippenanordnung (60, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 69), die die Kammer in radial verlaufende Strömungsdurchgänge untergliedert, und eine Schaufelaussenschale, die eine Aussenfläche des Schaufelblatts definiert. Die Rippenanordnung ist ein nichtintegrales Bauteil der Schaufelaussenschale.



## 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») 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, geleitet wird. Derartige Kühlkreise werden gewöhnlich von inneren Rippen gebildet, welche die erforderliche strukturelle Unterstützung für das Schaufelblatt erbringen, und sie 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 Kühlmittelführung 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 Verbindungspunkten 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.

### KURZE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0006] Die vorliegende Anmeldung beschreibt daher eine Turbinenschaufel, die ein Schaufelblatt beinhaltet, 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, die die Kammer in radial verlaufende Strömungsdurchgänge untergliedert, und eine Schaufelaussenschale, die eine Aussenfläche des Schaufelblatts definiert, beinhalten. Die Rippenanordnung ist ein nichtintegrales Bauteil der Schaufelaussenschale.

[0007] Die Anordnung der Turbinenschaufel kann ein integral ausgebildetes Bauteil sein, das aus einem ersten Material hergestellt ist, und die Schaufelaussenschale kann ein integral ausgebildetes Bauteil sein, das aus einem zweiten Material hergestellt ist.

[0008] Die Rippenanordnung einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine Skelettlinienrippe mit einem welligen Profil beinhalten, wobei das wellige Profil wenigstens eine hin- und hergehende «S»-Form aufweist und wobei die Turbinenschaufel eine Turbinenlaufschaufel oder eine Turbinenleitschaufel umfasst.

[0009] Das wellige Profil einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann wenigstens zwei aufeinanderfolgende hin- und hergehende «S»-Formen aufweisen und die Turbinenschaufel kann eine Turbinenlaufschaufel umfassen.

**[0010]** Eine Skelettlinienrippe mit einem welligen Profil kann eine umfassen, die von nahe der Vorderkante des Schaufelblatts ausgeht und sich über einen sich wölbenden Weg vor- und zurückwindet, der zur Hinterkante des Schaufelblatts hin verläuft, wobei der sich wölbende Weg etwa parallel zu einer Referenzskelettlinie des Schaufelblatts ist; wobei der sich wölbende Weg der Skelettlinienrippe eine Länge umfasst, die wenigstens 50% einer Länge der Referenzskelettlinie des Schaufelblatts ausmacht.

**[0011]** Die Rippenanordnung einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann zwei Skelettlinienrippen beinhalten, bei denen eine druckseitige Skelettlinienrippe eine umfasst, die sich nahe der druckseitigen Aussenwand befindet, und eine saugseitige Skelettlinienrippe eine umfassen kann, die sich nahe der saugseitigen Aussenwand befindet, wobei sowohl die druckseitige Skelettlinienrippe als auch die saugseitige Skelettlinienrippe ein welliges Profil aufweisen, wobei die druckseitige Skelettlinienrippe und die saugseitige Skelettlinienrippe dazwischen einen mittleren Strömungsdurchgang definieren und wobei das wellige Profil für die druckseitige Skelettlinienrippe und die saugseitige Skelettlinienrippe jeweils eines umfasst, das relativ zu dem mittleren Strömungsdurchgang wenigstens zwei aufeinanderfolgende Segmente beinhaltet, bei denen ein erstes konkaves Segment in ein zweites konvexes Segment übergeht.

**[0012]** Die Rippenanordnung einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann Querrippen aufweisen, wobei die Querrippen sich von der Skelettlinienrippe erstrecken und Oberflächen an distalen Enden beinhalten, die mit der Schaufelaussenschale verbunden sind.

**[0013]** Das erste Material einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann einen ersten Metalllegierungstyp umfassen und das zweite Material kann einen zweiten Metalllegierungstyp umfassen.

**[0014]** Das erste Material einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine Metalllegierung umfassen und das zweite Material umfasst eine Keramik.

**[0015]** Das erste Material einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine Keramik umfassen und das zweite Material kann eine Metalllegierung umfassen.

**[0016]** Das erste Material einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann einen ersten Keramiktyp umfassen und das zweite Material kann einen zweiten Keramiktyp umfassen.

**[0017]** Das erste Material und das zweite Material einer oben erwähnten Turbinenschaufel können auf der Basis einer Wärmeausdehnungseigenschaft von jedem ausgewählt werden.

**[0018]** Die zwischen der Rippenanordnung und der Schaufelaussenschale einer oben erwähnten Turbinenschaufel hergestellte Verbindung kann eine Schweißnaht umfassen.

**[0019]** Die zwischen der Rippenanordnung und der Schaufelaussenschale einer oben erwähnten Turbinenschaufel hergestellte Verbindung kann eine mechanische Übermasspassung umfassen.

**[0020]** Die Schaufelaussenschale einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine Schaufelwurzel aufweisen, die eine Plattform beinhaltet, von der sich das Schaufelblatt erstreckt, wobei die Schaufelaussenschale an einer innenliegenden Seite der Schaufelwurzel eine Öffnung aufweist, wobei die Öffnung so angeordnet ist, dass sie während der Herstellung das Einsetzen der Rippenanordnung durch sie hindurch zulässt.

**[0021]** Die vorliegende Erfindung beschreibt des Weiteren ein Verfahren zum Herstellen einer Turbinenschaufel, die ein Schaufelblatt beinhaltet, 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. Das Verfahren kann die folgenden Schritte beinhalten: separates Bilden einer Schaufelaussenschale und eines Rippeneinsatzes, wobei die Schaufelaussenschale und der Rippeneinsatz jeweils integral ausgebildete Bauteile umfassen und die Schaufelaussenschale eine Öffnung beinhaltet, durch die der Rippeneinsatz während der Montage eingesetzt wird, und Einsetzen des Rippeneinsatzes durch die Öffnung und Anbringen des Rippeneinsatzes an einer Innenfläche der Schaufelaussenschale. Der Rippeneinsatz kann eine Anordnung beinhalten, welche die Kammer des Schaufelblatts in radial verlaufende Strömungsdurchgänge untergliedert und eine Skelettlinienrippe mit einem welligen Profil beinhaltet.

**[0022]** Die Skelettlinienrippe mit einem welligen Profil kann eine umfassen, die von nahe der Vorderkante des Schaufelblatts ausgeht und sich über einen sich wölbenden Weg vor- und zurückwindet, der zur Hinterkante des Schaufelblatts hin verläuft, wobei der sich wölbende Weg etwa parallel zu einer Referenzskelettlinie des Schaufelblatts ist und wobei das wellige Profil wenigstens eine hin- und hergehende «S»-Form umfasst, wobei der sich wölbende Weg der Skelettlinienrippe eine Länge umfasst, die wenigstens 50% einer Länge der Referenzskelettlinie des Schaufelblatts ausmacht, und wobei die Turbinenschaufel eine Turbinenlaufschaufel umfasst.

**[0023]** Ein oben erwähntes Verfahren kann aufweisen, dass der Rippeneinsatz Querrippen aufweist, wobei die Querrippen sich von der Skelettlinienrippe erstrecken und Oberflächen an distalen Enden beinhalten, und der Schritt des Anbringens des Rippeneinsatzes an der Schaufelaussenschale das Verbinden der distalen Endflächen des Rippeneinsatzes mit einer Innenfläche der Kammer des Schaufelblatts beinhaltet.

**[0024]** Ein oben erwähntes Verfahren kann aufweisen, dass der Rippeneinsatz ein erstes Material umfasst und die Schaufelaussenschale ein zweites Material umfasst, das von dem ersten Material verschieden ist, wobei das erste Material eines

der folgenden umfasst: einen ersten Metalllegierungstyp, einen zweiten Metalllegierungstyp, einen ersten Keramiktyp und einen zweiten Keramiktyp, und wobei das zweite Material eines der folgenden umfasst: einen ersten Metalllegierungstyp, einen zweiten Metalllegierungstyp, einen ersten Keramiktyp und einen zweiten Keramiktyp.

**[0025]** Ein oben erwähntes Verfahren kann den Schritt des Auswählens des ersten Materials und des zweiten Materials auf der Basis einer Wärmeausdehnungseigenschaft von jedem relativ zu dem anderen aufweisen.

**[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 Begleitzeichnungen 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 Querschnittansicht einer Turbinenlaufschaufel ist, die eine Innenwand- oder Rippenanordnung gemäss einer konventionellen Konstruktion hat,
- Fig. 6 eine Querschnittansicht einer Turbinenlaufschaufel ist, die eine Innenwandanordnung gemäss einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung hat,
- Fig. 7 eine Querschnittansicht einer Turbinenlaufschaufel ist, die eine Innenwand- oder Rippenanordnung gemäss einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung hat,
- Fig. 8 eine Seitenansicht einer Schale einer Laufschaufel gemäss einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist und
- Fig. 9 eine Querschnittansicht einer Turbinenlaufschaufel ist, die eine nichtintegrale Schale und einen Einsatz gemäss einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung hat.

## 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 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 «ausenliegend» 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 Verbrennungsturbinenmaschine, 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 Verbrennungsturbinenmaschinen 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 Verbrennungsturbinenmaschine 10. Im Allgemeinen funktionieren Verbrennungsturbinenmaschinen, 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 Verbrennungsturbinenmaschine 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 Verbrennungsturbinenmaschine 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.

**[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 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.

**[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 abzutheilen, 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 Verbindungsdurchgänge 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 Skelettlinienrippe 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 26 und der saugseitigen Aussenwand 27 verbindet. Wie oft der Fall ist, beinhaltet die konventionelle Anordnung von Fig. 5 zwei Skelettlinienrippen 62, eine druckseitige Skelettlinienrippe 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 Skelettlinienrippe 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 Skelettlinienrippen 63, 64 gehören, oft als eine «vierwandige» Anordnung bezeichnet. Es ist zu beachten, dass die Aussenwände 26, 27 und die Skelettlinienrippen 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 Skelettlinienrippe 63 verbinden, als die druckseitigen Querrippen 67 bezeichnet. Die Querrippen 66, welche die saugseitige Aussenwand 27 mit der saugseitigen Skelettlinienrippe 64 verbinden, werden als saugseitige Querrippen 68 bezeichnet. Schliesslich werden die Querrippen 66, welche die druckseitige Skelettlinienrippe 63 mit der saugseitigen Skelettlinienrippe 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 Skelettlinienrippe 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 Skelettlinienrippe 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 Wärme-

ausdehnung veranlasst. Es ist zu erkennen, dass die saugseitige Skelettlinienrippe 64, die eine Innenwand ist, nicht den gleichen Wärmeausdehnungsgrad erfährt und daher nicht die gleiche Tendenz hat, sich nach aussen zu biegen. Die Skelettlinienrippe 64 widersteht dann der wärmebedingten Vergrösserung der Aussenwand 27. Weil konventionelle Konstruktionen Skelettlinienrippen 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 Skelettlinienrippe 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 Skelettlinienrippe 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 Kurzzeitermüdungsproblemen, 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 berichtigen. 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 Skelettlinienrippen 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 und 7 bieten Querschnittsansichten einer Turbinenlaufschaufel 16 mit einer Innenwandanordnung gemäss Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. Speziell beinhaltet die vorliegende 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 Skelettlinienrippe 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 bis 8 haben). Eine Skelettlinienrippe 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 «Skelettlinienrippen» 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. Beispiele für diesen bestimmten Typ von welligem Profil sind oben in den Fig. 6 und 7 vorgesehen.

**[0044]** Das bzw. die mit dem Wellenprofil gestaltete Segment oder Länge der Skelettlinienrippe 62 kann in Abhängigkeit von Konstruktionskriterien variieren. In den gegebenen Beispielen erstreckt sich die wellige Skelettlinienrippe 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 Skelettlinienrippe 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 Skelettlinienrippe 62 können zum Erzielen der besten Ergebnisse variiert werden. In gewissen Ausführungsformen wird die wellige Skelettlinienrippe 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 Skelettlinienrippe 62 wenigstens eine kontinuierliche hin- und hergehende «S»-Form. In einer weiteren Ausführungsform beinhaltet die wellige Skelettlinienrippe 62 wenigstens zwei aufeinanderfolgende und kontinuierliche hin- und hergehende «S»-Formen. Es ist zu erkennen, dass die in den Fig. 6 und 7 gegebenen Beispiele jeweils Wege beschreiben, die mehr als zwei vollständige «S»-Formen haben. Bezüglich der Gesamtlänge kann das wellige Segment der Skelettlinienrippe 62 über einen beträchtlichen Teil der Länge der Skelettlinie des Schaufelblatts 25 hinweg verlaufen. Zum Beispiel, wie in den Fig. 6 und 7 gezeigt, macht der wellige Teil der Skelettlinienrippe 62 in einer bevorzugten Ausführungsform über 50% der Länge der Skelettlinie des Schaufelblatts 25 aus. Das heisst, der wellige Teil der Skelettlinienrippe 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 Skelettlinienrippe 62.

**[0045]** Es ist zu beachten, dass eine wellige Skelettlinienrippe 62 angesichts ihres gewundenen Profils einen Weg beschreibt, der in seiner Richtung variiert. Die wellige Skelettlinienrippe 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 Skelettlinienrippe 62 dieser allgemeine sich wölbende Weg ist, der grob parallel zur Skelettlinie des Schaufelblatts 25 ist.

**[0046]** Viele bekannte Anordnungen des Schaufelblatts 25, wie das oben besprochene vierwandige Beispiel von Fig. 5, beinhalten zwei Skelettlinienrippen 62. Dieser Anordnungstyp kann eine druckseitige Skelettlinienrippe 62, die sich nahe der druckseitigen Aussenwand 26 befindet, und eine saugseitige Skelettlinienrippe 64, die sich nahe der saugseitigen Aussenwand 27 befindet, aufweisend beschrieben werden. Die vorliegende Erfindung, wie in den Fig. 6 und 7 gezeigt, kann Anordnungen beinhalten, in denen sowohl die saugseitige Skelettlinienrippe 64 als auch die druckseitige Skelettlinienrippe 63 als wellige Rippen ausgebildet sind. In alternativen Ausführungsformen kann nur eine dieser Skelettlinienrippen 62 ein welliges Profil haben. Es ist zu beachten, dass die vorliegende Erfindung auch in Anordnungen mit nur einer einzelnen Skelettlinienrippe 62 eingesetzt werden kann.

**[0047]** Bei Schaufelblättern 25, die zwei Skelettlinienrippen 62 beinhalten, ist zu beachten, dass die druckseitige Skelettlinienrippe 63 und die saugseitige Skelettlinienrippe 64 einen mittleren Strömungsdurchgang 40 definieren. Das wellige Profil für die druckseitige Skelettlinienrippe 63 und die saugseitige Skelettlinienrippe 64 kann jeweils relativ zu der Form definiert sein, die dem mittleren Strömungsweg 40 zugekehrte aufeinanderfolgende Segmente der Skelettlinienrippe 62 einnehmen. Das heisst, das wellige Profil der Skelettlinienrippe 62 kann zum Beispiel relativ zum zentralen Strömungsweg 40 als zwei aufeinanderfolgende Segmente beinhalten beschrieben werden, bei denen ein erstes konkaves Segment in ein zweites konvexes Segment übergeht. In einer alternativen Ausführungsform kann das wellige Profil vier 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 konkave Segment in ein viertes konvexes Segment übergeht.

**[0048]** Gemäss der vorliegenden Erfindung kann die Innenstruktur eines Schaufelblatts entlang der Skelettlinienrichtung des Schaufelblatts also wellige Rippen beinhalten. Indem die Skelettlinienrippe 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 heisseren 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.

**[0049]** Fig. 8, jetzt Bezug auf einen weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung nehmend, ist eine Seitenansicht einer Schaufelaussenschale 100 einer Laufschaufel 16 nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Fig. 9 ist eine Querschnittansicht der Schaufelaussenschale 100, bei der ein(e) nichtintegrale Rippenanordnung oder Rippeneinsatz 101 gemäss einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung eingebaut ist. Wie unten beschrieben, beinhaltet die vorliegende Erfindung neue Schaufelbaugruppen und Verfahren zum Herstellen derartiger Baugruppen, die eine effizientere Kühlmittelnutzung ergeben, sowie die Paarung verschiedener Materialien innerhalb einer mehrteiligen Schaufelbaugruppe, so dass die Schaufel auf erwartete Wärmegradienten abgestimmt werden und eine bessere Leistung erbringen kann, wenn diese Gradienten über die inneren und äusseren Regionen des Schaufelblatts nicht ausgeglichen sind. Ausserdem kann der von der vorliegenden Erfindung gelehrt zweiteilige Aufbau zu Verringerungen der Schaufelkosten durch Ermöglichen der Nutzung preisgünstigerer Materialien in weniger beanspruchten Regionen führen, während er auch die Nutzung kostspieligerer und stärker belastbarer Materialien, wo notwendig, beibehält.

**[0050]** Gewöhnlich werden stark beanspruchte Turbinenbauteile im Heissgasweg wie Lauf- und Leitschaufeln aus Metalllegierungen hergestellt, die für ihre Belastbarkeit und ihre Fähigkeit, extremen Temperaturen und mechanischen Beanspruchungen standzuhalten, gewählt werden. Gewisse dieser Bauteile können zwar immer noch aus Stahllegierungen hergestellt werden, angesichts der immer höheren Zündtemperaturen bei modernen Maschinen werden aber die anspruchsvollsten Bauteile wie Laufschaufeln gewöhnlich als ein einstückig ausgebildetes einteiliges Bauteil aus einer beliebigen Anzahl von Superlegierungen, die im typischen Fall nach ihrem Grundlegierungselement d.h. gewöhnlich Nickel, Kobalt oder Nickel-Eisen, klassifiziert werden, gebaut. Die Entwicklung von Superlegierungen hat sich stark auf chemische und Prozessinnovationen gestützt und wird in erster Linie von der Luftfahrtindustrie und dem Energiesektor vorangetrieben. Es ist zu erkennen, dass Superlegierungen überragende mechanische Eigenschaften aufweisen und ihre Nutzung deshalb weit verbreitet ist. Diese Materialien sind aber teuer und treiben die Kosten von Turbinenanwendungen nach oben. Beispiele für Superlegierungen sind Hastelloy, Inconel, Waspaloy, Rene-Legierungen, Haynes-Legierungen, Incoloy, MP98T, TMS-Legierungen und CMSX-Einkristalllegierungen.

**[0051]** Ein weiteres in Heissgaswegenwendungen häufig verwendetes Material ist Keramik und diesen Materialien und ihrem Potenzial für eine verstärkte Nutzung in Turbinenmaschinen wurde in jüngerer Zeit viel Aufmerksamkeit gewidmet. Es ist zu erkennen, dass Keramikmaterialien für ihre Hochtemperaturbeständigkeit bekannt sind. Ausserdem sind keramische Stoffe ziemlich unempfindlich gegenüber Schadstoffen wie Natrium und Vanadium, die in kostengünstigen Turbinenkraftstoffen anwesend sind und für die häufig verwendeten Superlegierungen auf Nickel-Basis hoch korrodierend sind. Keramische Stoffe sind auch bis zu 40% leichter als vergleichbare Hochtemperaturlegierungen und kosten oft viel weniger. Zu diesen Materialtypen zählt Keramik auf Basis von Siliziumkarbid und Siliziumnitrid, die vor vielen Jahren identifiziert wurden. Ihre Nutzung in Gasturbinen ist gegenwärtig zwar etwas begrenzt, anhaltende technische Fortschritte in diesem Bereich sollten aber in den kommenden Jahren eine weiter verbreitete Nutzung ermöglichen, speziell angesichts der kürzlichen Weiterentwicklung von keramischen Faserverbundwerkstoffen («CMC»). Die Einführung von CMC in Bauteile für den Heissgasweg wurde schon seit langem als möglicher Weg zum Erreichen der Erhöhung von Betriebstemperaturen ohne die mit einem höheren Kühlluftverbrauch verbundenen Nachteile identifiziert. Wie unten besprochen, lehrt die vorliegende Erfindung Methoden, auf die Turbinenschaufeln mit mehreren Teilen hergestellt werden können, die mehrere Materialien beinhalten. Auf diese Weise können Materialien kostengünstig gepaart werden, um die verschiedenen Kriterien über separate Regionen der Turbinenschaufel zu erfüllen. Dieser Ansatz kann zum Beispiel die Verwendung weniger teurer und/oder leichter Materialien anstelle kostspieligerer und schwererer ermöglichen. Auch ist zu erkennen, dass die vorliegende Erfindung einen effizienten Prozess vorsieht, mit dem Turbinenschaufeln mit welligen oder sinusförmigen Innenrippen hergestellt werden können. Wie der Durchschnittsfachmann erkennt, werfen diese Anordnungstypen bei der Herstellung durch traditionelle Feingussprozesse Schwierigkeiten auf. Der hierin beschriebene Zwei-Teile-Ansatz zur Herstellung der Schaufeln und das anschliessende Verbinden der Teile über einen Einbauprozess schliesst jene Schwierigkeiten aus und machen das Giessen der Schaufeln kostengünstiger.

**[0052]** In Fig. 8, auf die jetzt Bezug genommen wird, wird eine Seitenansicht einer Schaufelaussenschale 100 gezeigt, die eine Aussenfläche des Schaufelblatts 25 definiert. Speziell beinhaltet die Schaufelaussenschale 100 eine Schalenkammer 105, die eine Innenfläche 104 hat, um die die druckseitige Aussenwand 26 und die saugseitige Aussenwand 27 definiert sind. Wie veranschaulicht, kann die Schaufelaussenschale 100 auch einen Wurzelteil 21 und, durch den Wurzelteil 21 definiert, eine Wurzelöffnung 102 beinhalten. Es ist zu erkennen, dass die Wurzelöffnung 102 eine Öffnung bereitstellen kann, durch welche ein Rippeneinsatz 101 in die Schalenkammer 105 eingebaut wird.

**[0053]** Gemäss Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist der Rippeneinsatz 101 kein integral ausgebildetes Bauteil relativ zur Schaufelaussenschale 100. Das heisst, der Rippeneinsatz 101 (oder zumindest ein Teil davon) wird von der Schaufelaussenschale 100 getrennt hergestellt und die zwei Teile werden dann zusammengefügt und aneinander angebracht. Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sehen zwar Fälle vor, bei denen die Schaufelaussenschale 100 und der Rippeneinsatz 101 getrennt aus dem gleichen Materialtyp hergestellt werden, Ausführungen beinhalten aber auch Fälle, in denen der Rippeneinsatz 101 ein integral ausgebildetes Bauteil aus einem ersten Materialtyp ist und die Schaufelaussenschale 100 ein integral ausgebildetes Bauteil aus einem zweiten (und anderen) Materialtyp ist. In einer beispielhaften Ausführungsform kann der erste Materialtyp ein erster Metalllegierungstyp sein und der zweite Materialtyp kann ein zweiter Metalllegierungstyp sein. In einer weiteren beispielhaften Ausführungsform kann der erste Materialtyp eine Metalllegierung sein und der zweite Materialtyp kann eine Keramik sein. Alternativ kann in einer weiteren beispielhaften Ausführungsform der erste Materialtyp eine Keramik sein und der zweite Materialtyp kann eine Metalllegierung sein. Schliesslich kann in einer weiteren Ausführungsform der erste Materialtyp ein erster Keramiktyp sein und der zweite Materialtyp kann ein zweiter Keramiktyp sein. Es ist zu erkennen, dass das erste Material und das zweite Material auf der Basis einer Wärmeausdehnungseigenschaft von jedem ausgewählt oder gepaart werden können. Zum Beispiel kann diese Auswahl erwartete Wärmegradienten während des Betriebs innerhalb der Struktur des Schaufelblatts voraussehen und dann Materialien miteinander paaren, die aufgrund der verschiedenen Wärmeausdehnungseigenschaften von jedem zu einem verringerten Grad an Beanspruchung führen, der angesichts der vorausgesehenen Gradienten ansonsten auftreten würde.

**[0054]** Wie angegeben, kann die vorliegende Erfindung auch zur effizienten Herstellung von Schaufelblättern 25, die Skelettlinienrippen 62 mit einem welligen Profil beinhalten, verwendet werden. Es ist vorgesehen, dass die welligen Profile, auf die hier Bezug genommen wird, Anordnungen beinhalten, die oben in Bezug auf Fig. 6 und 7 besprochen werden. Gemäss

gewissen Ausführungsformen kann der Rippeneinsatz 101 mehrere Querrippen 66 beinhalten. Die Querrippen 66 können sich von einer Skelettlinienrippe 62 erstrecken und zum Anbringen des Rippeneinsatzes 101 an der Schaufelaussenschale 100 verwendet werden. Speziell können die Querrippen 66 Oberflächen an distalen Enden jener Querrippen 66 beinhalten, die mit der Innenfläche 104 der Schaufelaussenschale 100 verbunden sind. An dem Punkt, wo die Querrippen 66 die Innenfläche 104 berühren, kann eine Verbindung 106 zwischen dem Rippeneinsatz 101 und der Schaufelaussenschale 100 hergestellt werden. Die Verbindung kann eine Schweißnaht beinhalten. In anderen Ausführungsformen kann die Verbindung 106 eine mechanische Übermasspassung beinhalten.

**[0055]** Die vorliegende Erfindung beinhaltet des Weiteren ein Verfahren zum Herstellen einer Turbinenschaufel. Das Verfahren kann den Schritt des separaten Bildens einer Schaufelaussenschale 100 und eines Rippeneinsatzes 101 beinhalten. Wie angegeben, können die Schaufelaussenschale 100 und der Rippeneinsatz 101 jeweils separat als einstückiges Bauteil ausgebildet werden. Die Schaufelaussenschale 100 kann eine Öffnung 102 beinhalten, durch welche der Rippeneinsatz 101 während der Montage eingesetzt wird. Der zweite Schritt eines Prozesses kann Einsetzen des Rippeneinsatzes 101 durch die Öffnung 102 und Anbringen des Rippeneinsatzes 101 an einer Innenfläche 104 der Schaufelaussenschale 100 beinhalten. Der Rippeneinsatz 101 kann eine Anordnung beinhalten, welche die Kammer 105 des Schaufelblatts 25 in radial verlaufende Strömungsdurchgänge 40 untergliedert. Ausserdem kann der Rippeneinsatz 101 eine Skelettlinienrippe 62 mit einem welligen Profil gemäss einer der oben besprochenen Anordnungen beinhalten. Ein zusätzlicher Schritt des Verfahrens kann das Auswählen des Materials beinhalten, aus dem jeweils die Schaufelaussenschale 100 und der Rippeneinsatz 101 hergestellt werden. Die gewählten Materialien können beliebige der oben besprochenen beinhalten und die Auswahl könnte auf einer Wärmeausdehnungseigenschaft jedes Materials relativ zueinander basieren.

**[0056]** 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.

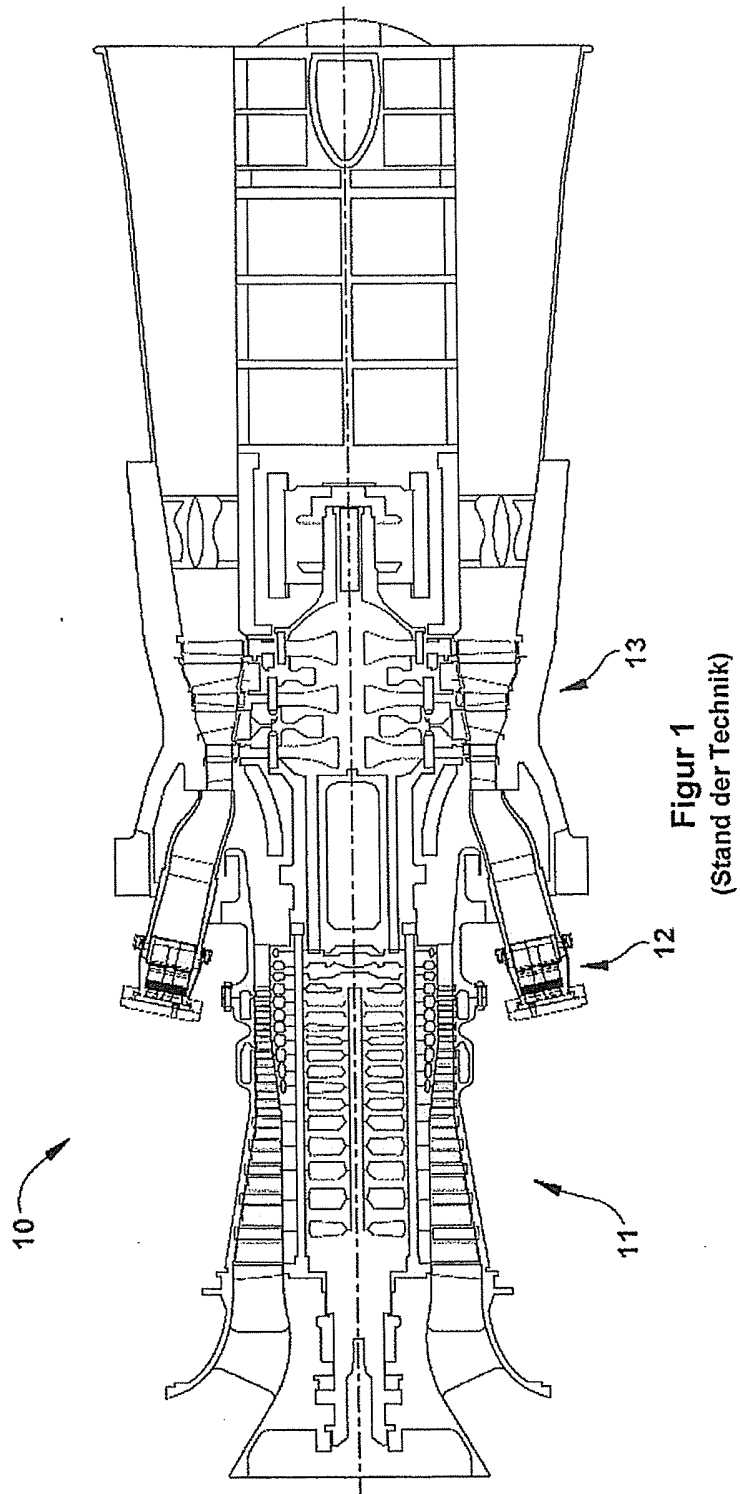
**[0057]** Eine Turbinenschaufel, die ein Schaufelblatt beinhaltet, das von einer konkav geformten druckseitigen Aussenwand und einer konvex geformten saugseitigen Aussenwand definiert wird, die an Vorder- und Hinterkante entlang miteinander verbunden sind und dazwischen eine radial verlaufende Kammer zur Aufnahme eines Kühlmittelstroms bilden. Die Turbinenschaufel kann ferner eine Rippenanordnung, die die Kammer in radial verlaufende Strömungsdurchgänge untergliedert, und eine Schaufelaussenschale, die eine Aussenfläche des Schaufelblatts definiert, beinhalten. Die Rippenanordnung ist ein nichtintegrales Bauteil der Schaufelaussenschale.

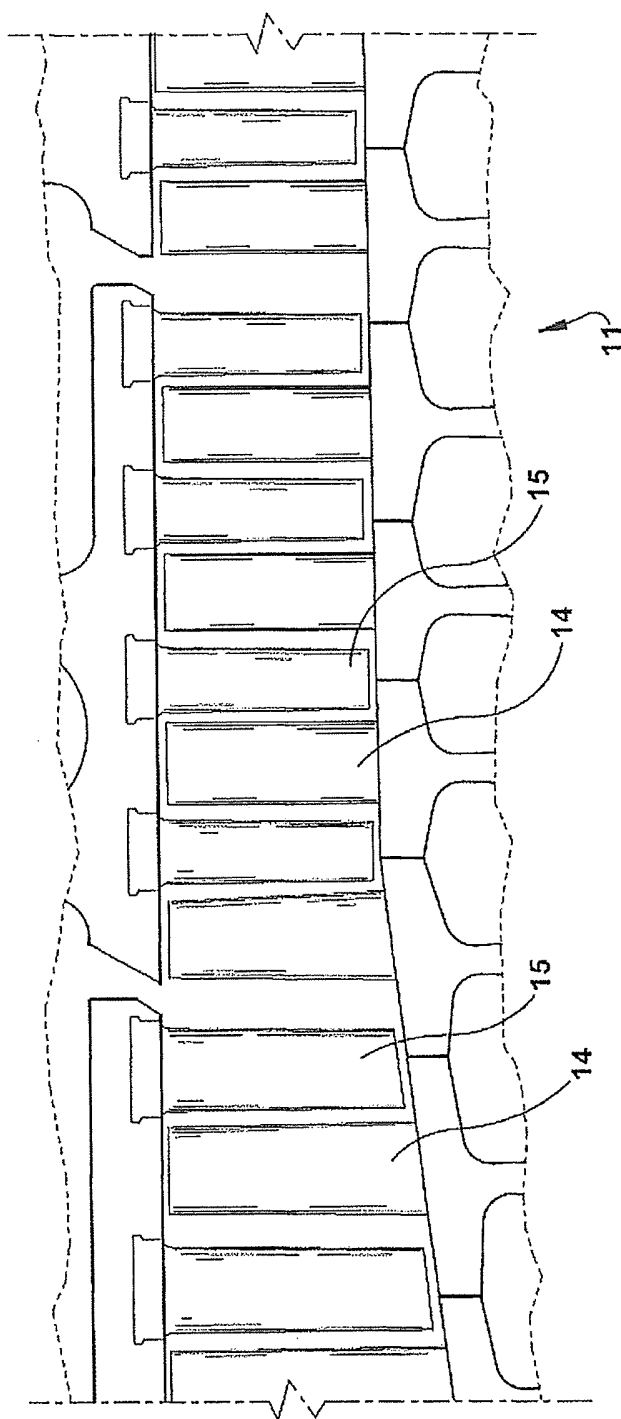
## Patentansprüche

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 in radial verlaufende Strömungsdurchgänge untergliedert, und  
eine Schaufelaussenschale, die eine Aussenfläche des Schaufelblatts definiert,  
wobei die Rippenanordnung ein nichtintegrales Bauteil umfasst, das während der Herstellung relativ zur Schaufelaussenschale einsetzbar ist.
2. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, wobei die Rippenanordnung ein integral ausgebildetes Bauteil ist, das aus einem ersten Material hergestellt ist, und  
wobei die Schaufelaussenschale ein integral ausgebildetes Bauteil ist, das aus einem zweiten Material hergestellt ist.
3. Turbinenschaufel nach Anspruch 2, wobei die Rippenanordnung eine Skelettlinienrippe mit einem welligen Profil beinhaltet,  
wobei das wellige Profil wenigstens eine hin- und hergehende «S»-Form aufweist und wobei die Turbinenschaufel eine Turbinenlaufschaufel oder eine Turbinenleitschaufel umfasst.
4. Turbinenschaufel nach Anspruch 3, wobei das wellige Profil wenigstens zwei aufeinanderfolgende hin- und hergehende «S»-Formen aufweist und  
wobei die Turbinenschaufel eine Turbinenlaufschaufel umfasst und/oder wobei eine Skelettlinienrippe mit einem welligen Profil eine umfasst, die von nahe der Vorderkante des Schaufelblatts ausgeht und sich über einen sich wölbenden

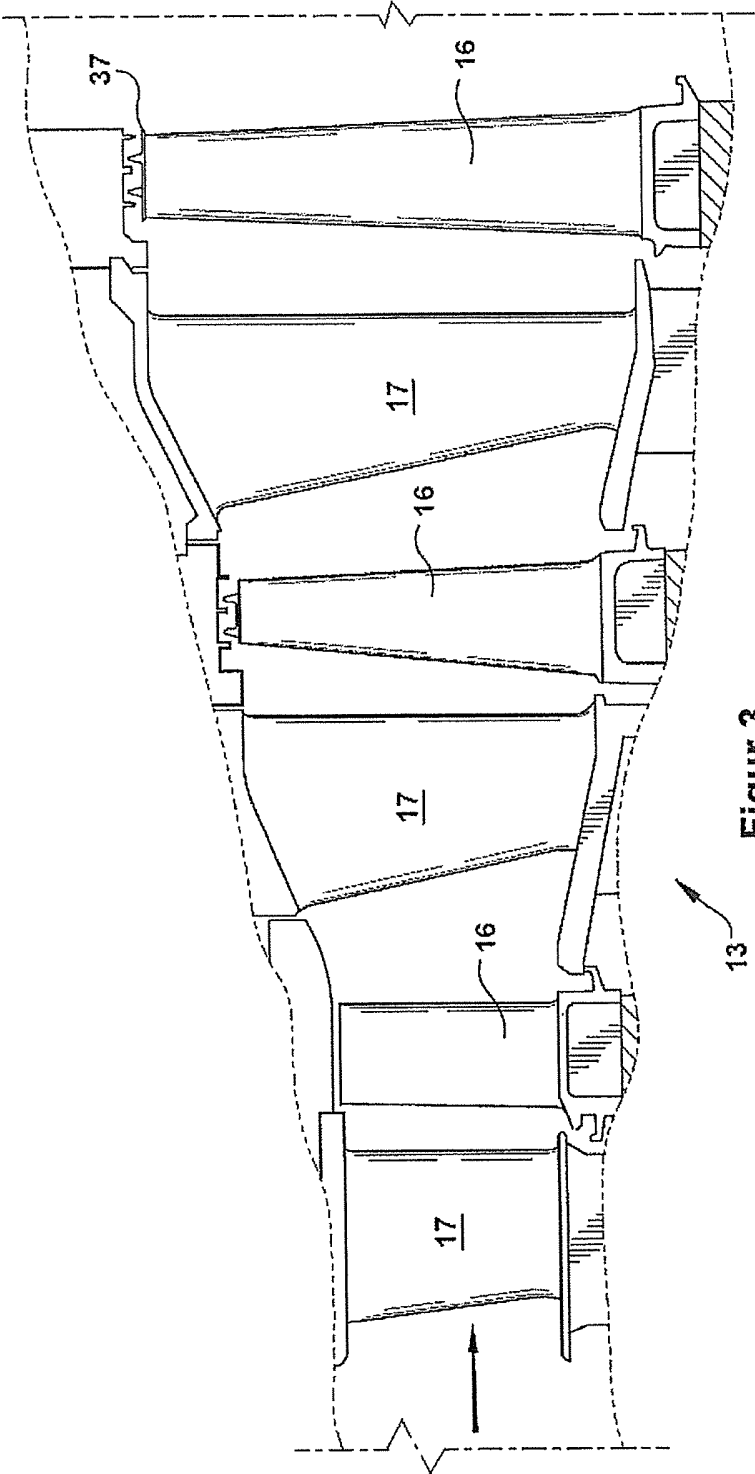
Weg vor- und zurückwindet, der zur Hinterkante des Schaufelblatts hin verläuft, wobei der sich wölbende Weg etwa parallel zu einer Referenzskelettlinie des Schaufelblatts ist, und wobei der sich wölbende Weg der Skelettlinienrippe eine Länge umfasst, die wenigstens 50% einer Länge der Referenzskelettlinie des Schaufelblatts ausmacht.

5. Turbinenschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Rippenanordnung zwei Skelettlinienrippen beinhaltet, bei denen eine druckseitige Skelettlinienrippe eine umfasst, die sich nahe der druckseitigen Aussenwand befindet, und eine saugseitige Skelettlinienrippe eine umfasst, die sich nahe der saugseitigen Aussenwand befindet, wobei sowohl die druckseitige Skelettlinienrippe als auch die saugseitige Skelettlinienrippe ein welliges Profil aufweisen, wobei die druckseitige Skelettlinienrippe und die saugseitige Skelettlinienrippe dazwischen einen mittleren Strömungsdurchgang definieren und wobei das wellige Profil für die druckseitige Skelettlinienrippe und die saugseitige Skelettlinienrippe jeweils eines umfasst, das relativ zu dem mittleren Strömungsdurchgang wenigstens zwei aufeinanderfolgende Segmente beinhaltet, bei denen ein erstes konkaves Segment in ein zweites konvexes Segment übergeht.
6. Turbinenschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Rippenanordnung Querrippen aufweist, und wobei die Querrippen sich von der Skelettlinienrippe erstrecken und Oberflächen an distalen Enden beinhalten, die mit der Schaufelaussenschale verbunden sind.
7. Turbinenschaufel nach Anspruch 2, wobei das erste Material einen ersten Metalllegierungstyp umfasst und das zweite Material einen zweiten Metalllegierungstyp umfasst oder wobei das erste Material eine Metalllegierung umfasst und das zweite Material eine Keramik umfasst oder wobei das erste Material eine Keramik umfasst und das zweite Material eine Metalllegierung umfasst oder wobei das erste Material einen ersten Keramiktyp umfasst und das zweite Material einen zweiten Keramiktyp umfasst und/oder wobei das erste Material und das zweite Material auf der Basis einer Wärmeausdehnungseigenschaft von jedem ausgewählt sind.
8. Turbinenschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die zwischen der Rippenanordnung und der Schaufelaussenschale hergestellte Verbindung eine Schweißnaht umfasst und/oder wobei die zwischen der Rippenanordnung und der Schaufelaussenschale hergestellte Verbindung eine mechanische Übermasspassung umfasst und/oder wobei die Schaufelaussenschale eine Schaufelwurzel aufweist, die eine Plattform beinhaltet, von der sich das Schaufelblatt erstreckt, und wobei die Schaufelaussenschale an einer innenliegenden Seite der Schaufelwurzel eine Öffnung aufweist, wobei die Öffnung so angeordnet ist, dass sie während der Herstellung das Einsetzen der Rippenanordnung durch sie hindurch zulässt.
9. Verfahren zum Herstellen einer 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 das Verfahren die folgenden Schritte beinhaltet:  
separates Bilden einer Schaufelaussenschale und eines Rippeneinsatzes, wobei die Schaufelaussenschale und der Rippeneinsatz jeweils integral ausgebildete Bauteile umfassen und die Schaufelaussenschale eine Öffnung beinhaltet, durch die der Rippeneinsatz während der Montage eingesetzt wird,  
Einsetzen des Rippeneinsatzes durch die Öffnung und Anbringen des Rippeneinsatzes an einer Innenfläche der Schaufelaussenschale,  
wobei der Rippeneinsatz eine Anordnung umfasst, welche die Kammer des Schaufelblatts in radial verlaufende Strömungsdurchgänge untergliedert und eine Skelettlinienrippe mit einem welligen Profil beinhaltet.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die Skelettlinienrippe mit einem welligen Profil eine umfasst, die von nahe der Vorderkante des Schaufelblatts ausgeht und sich über einen sich wölbenden Weg vor- und zurückwindet, der zur Hinterkante des Schaufelblatts hin verläuft, wobei der sich wölbende Weg etwa parallel zu einer Referenzskelettlinie des Schaufelblatts ist und wobei das wellige Profil wenigstens eine hin- und hergehende «S»-Form umfasst, wobei der sich wölbende Weg der Skelettlinienrippe eine Länge umfasst, die wenigstens 50% einer Länge der Referenzskelettlinie des Schaufelblatts ausmacht, und wobei die Turbinenschaufel eine Turbinenlaufschaufel umfasst.

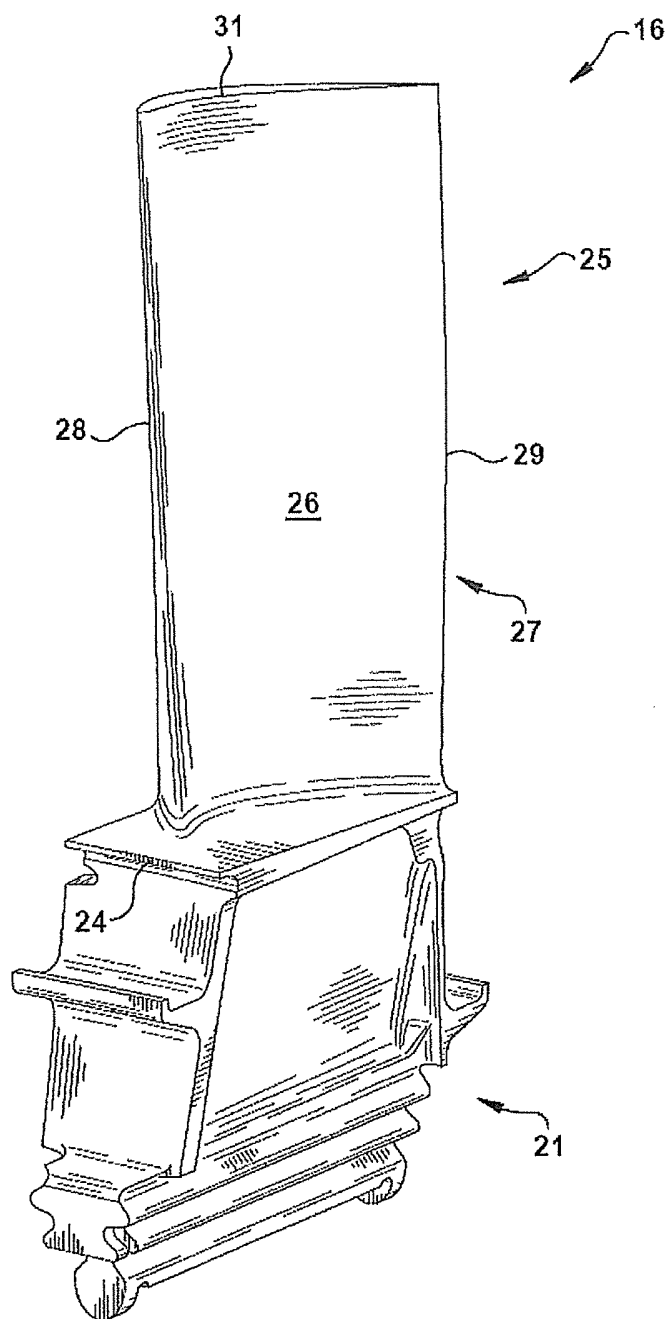




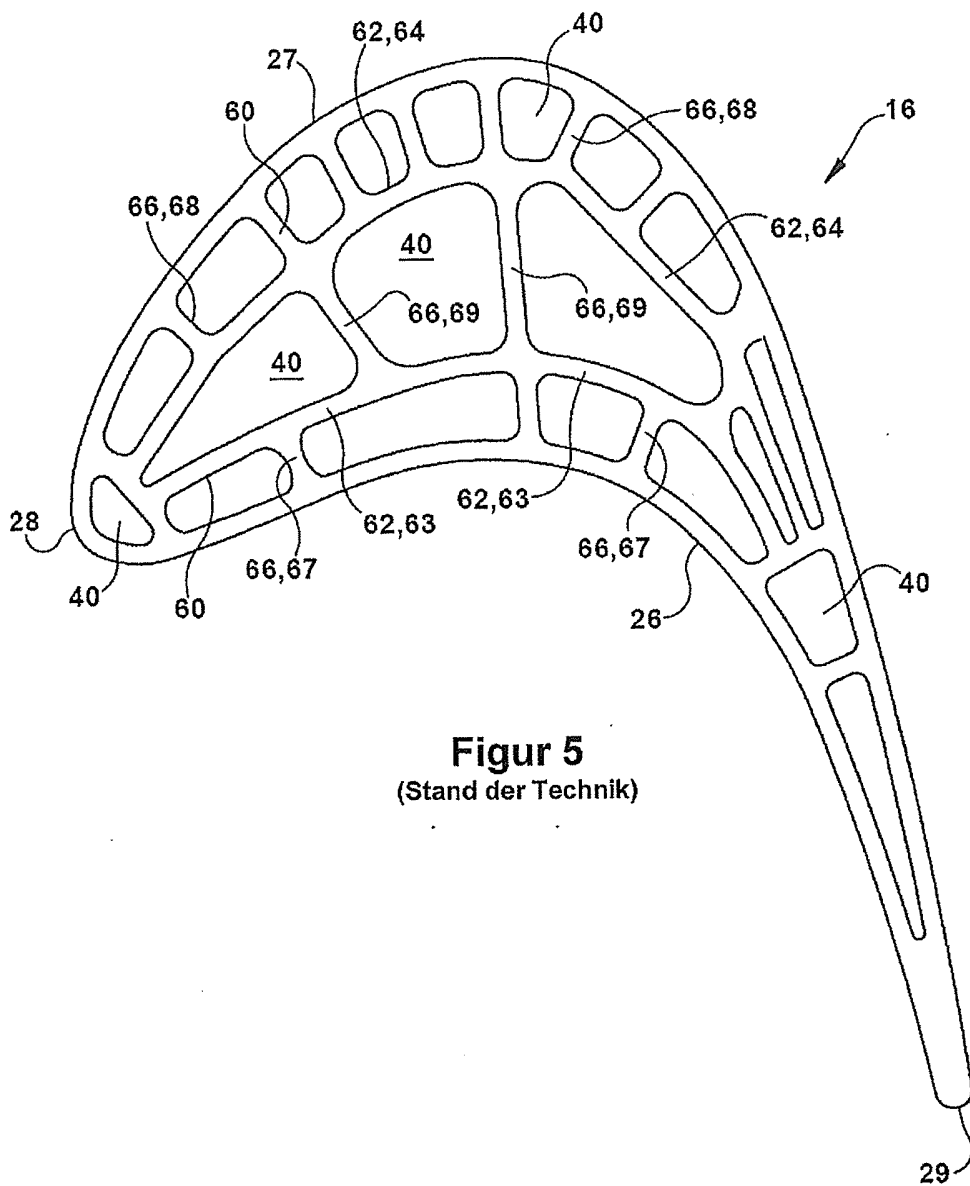
**Figur 2**  
(Stand der Technik)



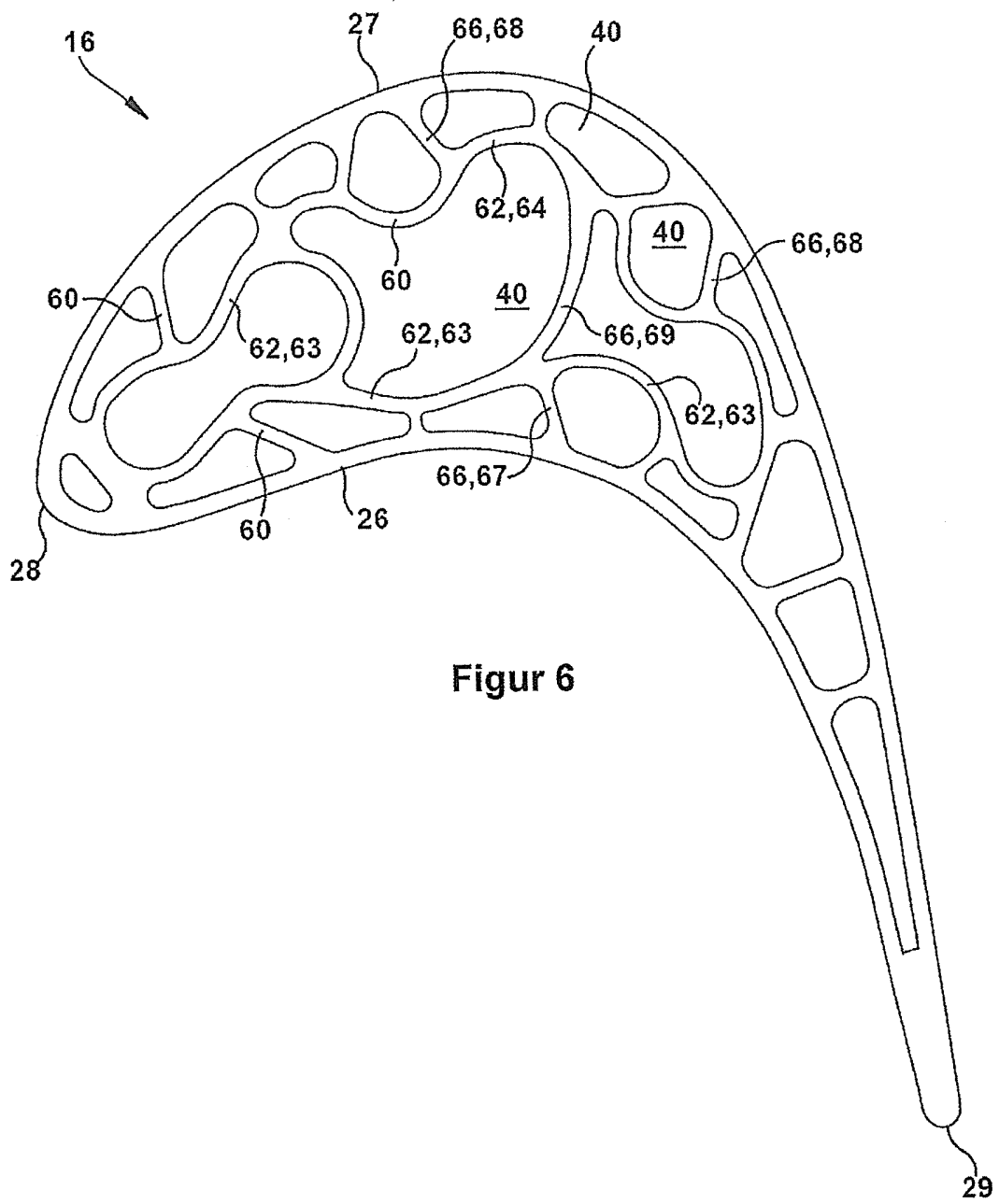
**Figur 3**  
(Stand der Technik)



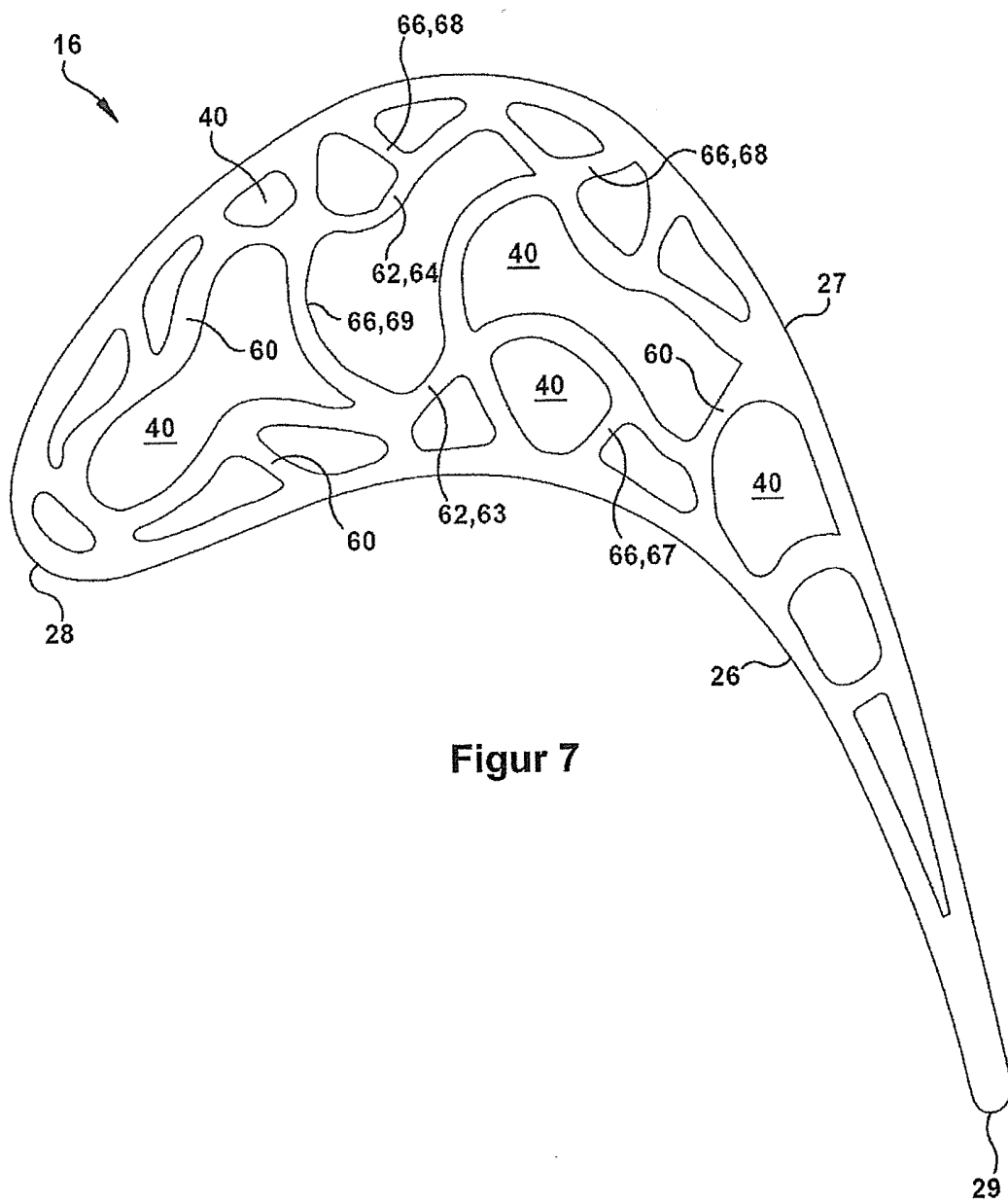
**Figur 4**  
(Stand der Technik)



**Figur 5**  
(Stand der Technik)



Figur 6



**Figur 7**

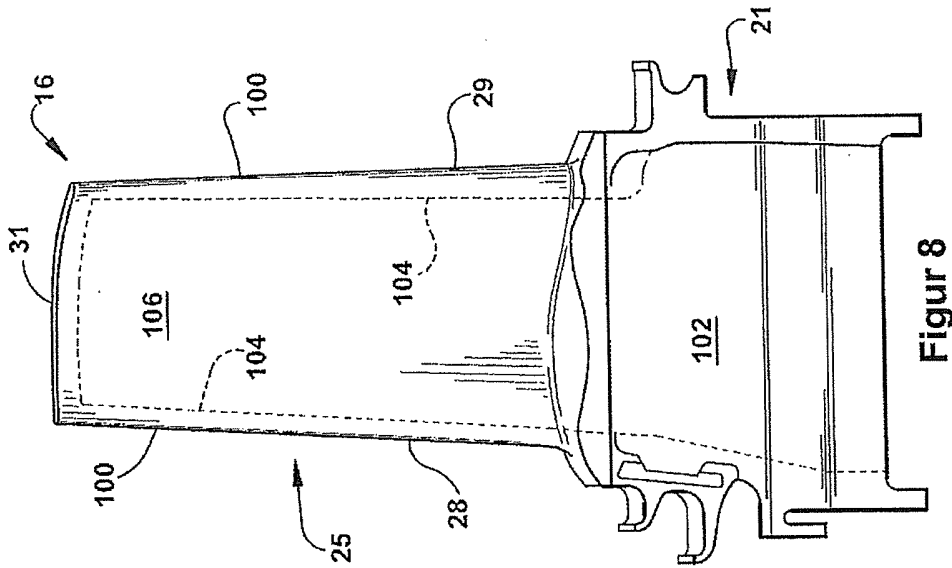


Figure 8

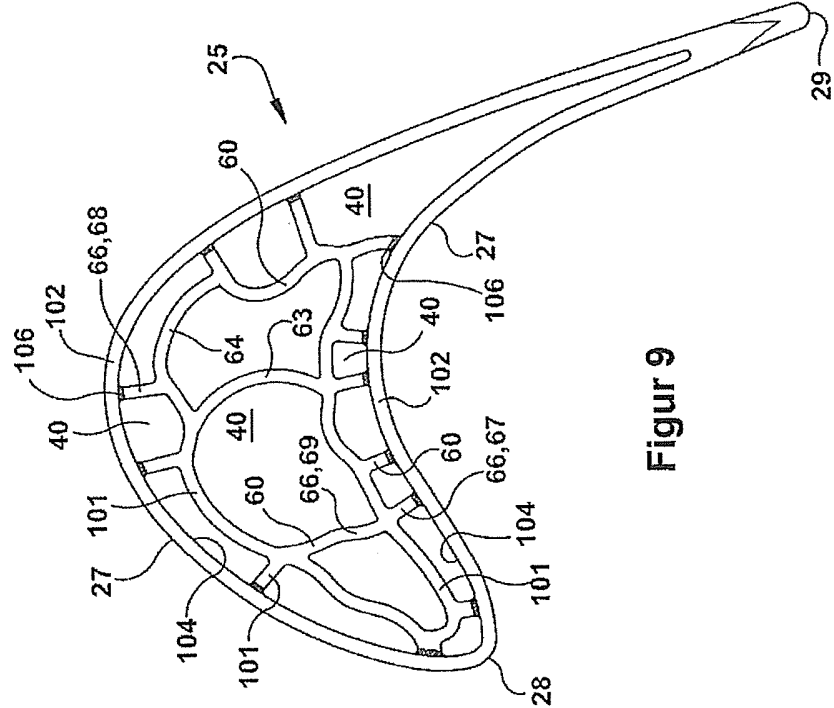


Figure 9