



(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2014 119 693.7

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

(22) Anmelddatag: 29.12.2014

(43) Offenlegungstag: 02.07.2015

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 07.03.2024

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

(30) Unionspriorität:  
**14/143,599** 30.12.2013 US

(72) Erfinder:  
**Wassynger, Stephen Paul, Greenville, S.C., US;**  
**Smith, Aaron Ezekiel, Greenville, S.C., US**

(73) Patentinhaber:  
**GENERAL ELECTRIC COMPANY, Schenectady, N.Y., US**

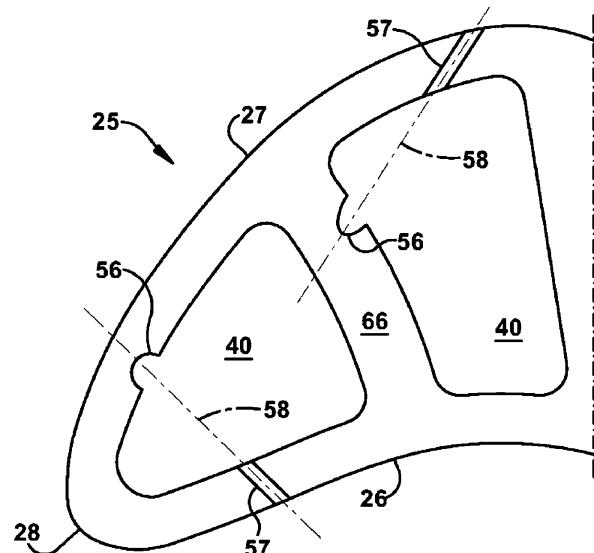
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE **689 07 527** T2

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

(54) Bezeichnung: **TURBINENSCHAUFEL MIT HOHLEM SCHAUFELBLATT MIT INNEREN RIPPEN UND KÜHLKANÄLEN**

(57) Hauptanspruch: Turbinenschaufel mit einem Schaufelblatt (25), das von einer konkav geformten druckseitigen Außenwand (26) und einer konvex geformten saugseitigen Außenwand (27) definiert ist, die an einer Vorder- und Hinterkante (28, 29) entlang miteinander verbunden sind und dazwischen eine radial verlaufende Kammer zur Aufnahme eines Kühlmittelstroms bilden, wobei die Turbinenschaufel ferner Folgendes aufweist:  
eine Rippenanordnung, die die Kammer unterteilt und einen Strömungsdurchgang (40) mit einer ersten Seite und einer zweiten Seite definiert,  
wobei der Strömungsdurchgang (40) ein Loch (57) beinhaltet, das durch die erste Seite ausgebildet ist,  
wobei eine Projektion einer Mittellachse (58) des Lochs (57) durch den Strömungsdurchgang (40) einen Aufschlagpunkt auf der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs (40) definiert und  
wobei auf der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs (40) eine Rückschlagaussparung (56) zum Fassen des Aufschlagpunkts positioniert ist.



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

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft Turbinenschaufeln und speziell Turbinenschaufeln mit hohlen Turbinenschaufelblättern, wie Lauf- oder Leitschaufeln, die innere Kanäle zum Hindurchleiten von Flüssigkeiten wie Luft zum Kühlung 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, 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 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 Kühlmittelumwälzung 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 Kühlleistung 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 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.

**[0006]** DE 689 07 527 T2 offenbart eine Turbinenschaufel mit einem Schaufelblatt, das von einer konkav geformten druckseitigen Außenwand und einer konvex geformten saugseitigen Außenwand definiert ist, die entlang einer Vorder- und einer Hinterkante miteinander verbunden sind und dazwischen eine radial verlaufende Kammer zur Aufnahme eines Kühlmittelstroms bilden. Die Turbinenschaufel enthält ferner eine Rippenanordnung, die die Kammer unterteilt und einen Strömungsdurchgang mit einer ersten Seite und einer zweiten Seite definiert. Der Strömungsdurchgang enthält ein Loch, das durch die erste Seite ausgebildet ist. Eine Projektion einer Mittelachse des Lochs durch den Strömungsdurchgang definiert einen Aufschlagpunkt auf der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs. Die Kammer ist mit einem viskoelastischen Medium gefüllt, um eine Beschädigung der dem Loch gegenüberliegenden Seite zu verhindern.

**[0007]** Ausgehend hiervon ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Turbinenschaufel mit

einer Schaufelblattkonstruktion zu schaffen, die eine effiziente Kühlung der Turbinenschaufel und eine Reduktion unausgeglicherner Wärmeausdehnung zwischen inneren und äußeren Regionen der Turbinenschaufel und dadurch verursachter Belastungen ermöglicht.

#### KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0008]** Zur Lösung der obigen Aufgabe ist gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung eine Turbinenschaufel mit einem Schaufelblatt geschaffen, das von einer konkav geformten druckseitigen Außenwand und einer konvex geformten saugseitigen Außenwand definiert ist, die an einer Vorder- und Hinterkante entlang miteinander verbunden sind und dazwischen eine radial verlaufende Kammer zur Aufnahme eines Kühlmittelstroms bilden. Die Turbinenschaufel beinhaltet ferner eine Rippenanordnung, 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 Aufschlagpunkt auf der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs. Auf der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs ist eine Rückschlagaussparung zum Fassen des Aufschlagpunkts positioniert.

**[0009]** Das Loch einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann von einer Mündung, die an einer Oberfläche der ersten Seite des Strömungsdurchgangs definiert ist, zu einem an einer Außenfläche des Schaufelblatts ausgebildeten Auslass verlaufen, wobei der Strömungsdurchgang einen wandnahen Strömungsdurchgang umfasst und wobei die Turbinenschaufel eine Turbinenlaufschaufel umfasst.

**[0010]** Das Loch einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann von einer Mündung, die an einer Oberfläche der ersten Seite definiert ist, in die erste Seite hinein verlaufen, wobei die Rückschlagaussparung von einer Mündung, die an einer Oberfläche der zweiten Seite definiert ist, in die zweite Seite hinein verläuft.

**[0011]** Die Mündung der Rückschlagaussparung einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine Querschnittsfläche umfassen, die einer Querschnittsfläche der Mündung des Lochs entspricht.

**[0012]** Die Mündung der Rückschlagaussparung einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine Querschnittsfläche umfassen, die größer als eine Querschnittsfläche der Mündung des Lochs ist.

**[0013]** 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.

**[0014]** 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 Mindestripdicke um die Rückschlagaussparung angeordnet ist.

**[0015]** Die Mündung des Lochs und die Mündung der Rückschlagaussparung einer oben erwähnten Turbinenschaufel können beide kreisförmige Formen aufweisen.

**[0016]** Die erste Seite und die zweite Seite einer oben erwähnten Turbinenschaufel können einander entgegengesetzte Seiten des Strömungsdurchgangs umfassen.

**[0017]** Die erste Seite einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann die druckseitige Außenwand oder die saugseitige Außenwand des Schaufelblatts umfassen, wobei die zweite Seite eine Skeletlinienrippe aufweist.

**[0018]** Die Skeletlinienrippe kann ein welliges Profil aufweisen, bei dem die Skeletlinienrippe einer oben erwähnten Turbinenschaufel wenigstens eine kontinuierliche hin- und hergehende „S“-Form beinhalten kann.

**[0019]** Die erste Seite und die zweite Seite einer oben erwähnten Turbinenschaufel können aneinander angrenzende Seiten des Strömungsdurchgangs umfassen.

**[0020]** Die erste Seite einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann die druckseitige Außenwand oder die saugseitige Außenwand umfassen, wobei die zweite Seite eine Querrippe umfasst.

**[0021]** Zur Lösung der oben angegebenen Aufgabe ist gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung eine Turbinenschaufel geschaffen, die ein Schaufelblatt aufweist, das von einer konkav geformten druckseitigen Außenwand und einer konvex geformten saugseitigen Außenwand definiert wird, die an einer 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 defi-

niert 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.

**[0022]** 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.

**[0023]** Zur Lösung der oben angegebenen Aufgabe ist gemäß einem noch weiteren Aspekt der Erfindung eine Turbinenschaufel geschaffen, die ein Schaufelblatt aufweist, das von einer konkav geformten druckseitigen Außenwand und einer konvex geformten saugseitigen Außenwand definiert wird, die an einer 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 Achse entlang voneinander beabstandet sind, wobei jedes Loch eine durch es hindurch definierte Mittelachse aufweist, die, wenn durch den Strömungsdurchgang projiziert, einen Aufschlagpunkt an der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs definiert, und wobei die zweite Seite eine oder mehrere Rückschlagaussparungen aufweist, die positioniert sind, um jeden Aufschlagpunkt einzuschließen.

**[0024]** Die eine oder mehreren Rückschlagaussparungen einer oben erwähnten Turbinenschaufel können eine Nut umfassen, die parallel zur Sammelachse der Löcher verläuft.

**[0025]** 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.

**[0026]** Die erste Seite einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann wenigstens 10 radial voneinander beabstandete Löcher beinhalten, wobei die gemein-

same 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.

**[0027]** Die Nut der Rückschlagaussparung einer oben erwähnten Turbinenschaufel kann eine mit steilen lateralen Seiten und einem gekrümmten, konkaven Boden umfassen.

**[0028]** 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

**[0029]** 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 hat, die nicht der vorliegenden beanspruchten Erfindung entspricht,

**Fig. 7** eine Querschnittsansicht einer Turbinenlaufschaufel ist, die eine Innenwand- oder Rippenanordnung hat, die nicht der vorliegenden beanspruchten Erfindung entspricht,

**Fig. 8** eine Querschnittsansicht einer Turbinenlaufschaufel gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist,

**Fig. 9** eine Querschnittsansicht einer Turbinelaufschaufel gemäß einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, und

**Fig. 10** eine Querschnittsansicht einer Turbinelaufschaufel gemäß einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0030]** 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.

**[0031]** Hierin können außerdem regelmäßig mehrere beschreibende Begriffe verwendet werden und es sollte sich als nützlich erweisen, diese Begriffe zu Beginn dieses Abschnitts zu definieren. Diese Begriffe und ihre Definitionen, sofern nicht anders angegeben, sind wie folgt. „Stromabwärts“ und „stromaufwärts“, wie hierin verwendet, sind Begriffe, die eine Richtung relativ zur Strömung eines Fluids andeuten, wie des Arbeitsfluids durch die Turbinemaschine oder zum Beispiel der Luftstrom durch die Brennkammer oder von Kühlmittel durch eines der Bauteilsysteme der Turbine. Der Begriff „stromabwärts“ entspricht der Fluidströmungsrichtung und der Begriff „stromaufwärts“ bezieht sich auf die Richtung, die der Strömung entgegengesetzt ist. Die Begriffe „vorn“ und „hinten“ ohne weitere Spezifität beziehen sich auf Richtungen, wobei „vorn“ sich auf das vordere oder Verdichterende der Maschine und „hinten“ sich auf das hintere oder Turbinenende der Maschine bezieht. Oft müssen Teile beschrieben werden, die sich in Bezug auf eine Mittelachse an verschiedenen radialen Positionen befinden. Der

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

**[0032]** Als Hintergrund, jetzt Bezug nehmend auf die Figuren, veranschaulichen die **Fig. 1** bis **4** eine beispielhafte Verbrennungsturbinemaschine, die in den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann. Der Fachmann versteht, dass die vorliegende Erfindung nicht auf diesen speziellen Nutzungstyp beschränkt ist. Die vorliegende Erfindung kann in Verbrennungsturbinemaschinen verwendet werden, wie jenen, die in der Stromerzeugung, in Flugzeugen sowie in anderen Maschinentyphen verwendet werden. Sofern nicht anders angegeben, ist nicht vorgesehen, dass die bereitgestellten Beispiele beschränkend sind.

**[0033]** **Fig. 1** ist eine schematische Darstellung einer Verbrennungsturbinemaschine **10**. Im Allgemeinen funktionieren Verbrennungsturbinemaschinen, indem sie einem druckbeaufschlagten Heißgasstrom, der durch die Verbrennung eines Brennstoffs in einem Strom verdichteter Luft erzeugt wird, Energie entnehmen. Wie in **Fig. 1** gezeigt, kann die Verbrennungsturbinemaschine **10** mit einem Axialverdichter **11**, der durch eine gemeinsame Welle oder einen gemeinsamen Läufer mechanisch mit einem oder einer stromabwärtsigen Turbinenabschnitt oder Turbine **13** gekoppelt ist, und einer zwischen dem Verdichter **11** und der Turbine **13** positionierten Brennkammer **12** ausgestaltet sein.

**[0034]** **Fig. 2** veranschaulicht eine Ansicht eines beispielhaften mehrstufigen Axialverdichters **11**, der in der Verbrennungsturbinemaschine von **Fig. 1** verwendet werden kann. Wie gezeigt, kann der Verdichter **11** mehrere Stufen beinhalten. Jede Stufe kann eine Reihe von Verdichterlaufschaufeln **14** gefolgt von einer Reihe von Verdichterleitschaufeln **15** beinhalten. Daher kann eine erste Stufe eine Reihe von Verdichterlaufschaufeln **14** beinhalten, die sich um eine mittlere Welle drehen, gefolgt von einer Reihe von Verdichterleitschaufeln **15**, die während des Betriebs unbeweglich bleiben.

**[0035]** Fig. 3 veranschaulicht eine Teilansicht eines bzw. einer beispielhaften Turbinenabschnitts oder Turbine 13, die in der Verbrennungsturbinemaschine von Fig. 1 verwendet werden kann. Die Turbine 13 kann mehrere Stufen beinhalten. Abgebildet sind drei beispielhafte Stufen, in der Turbine 13 können sich aber mehr oder weniger Stufen befinden. Eine erste Stufe beinhaltet mehrere Turbinenlaufschaufeln 16, die sich während des Betriebs um die Welle drehen, und mehrere Leitschaufeln 17, die während des Betriebs ortsfest bleiben. Die Turbinenleitschaufeln 17 sind im Allgemeinen in Umfangsrichtung voneinander beabstandet und um die Drehachse befestigt. Die Turbinenlaufschaufeln 16 können zur Drehung um die Welle (nicht gezeigt) an einem Turbinenrad (nicht gezeigt) montiert sein. Es ist auch eine zweite Stufe der Turbine 13 dargestellt. Die zweite Stufe beinhaltet gleichermaßen mehrere in Umfangsrichtung voneinander beabstandete Turbinenleitschaufeln 17 gefolgt von mehreren in Umfangsrichtung voneinander beabstandeten Turbinenlaufschaufeln 16, die zur Drehung ebenfalls an einem Turbinenrad montiert sind. Auch eine dritte Stufe ist dargestellt und beinhaltet gleichermaßen mehrere Turbinenleitschaufeln 17 und -laufschaufeln 16. Es ist zu beachten, dass die Turbinenleitschaufeln 17 und die Turbinenlaufschaufeln 16 im Heißgasweg der Turbine 13 liegen. Die Strömungsrichtung der heißen Gase durch den Heißgasweg wird von dem Pfeil angezeigt. Der Durchschnittsfachmann erkennt, dass die Turbine 13 mehr oder in einigen Fällen weniger Stufen als die in Fig. 3 dargestellten haben kann. Jede zusätzliche Stufe kann eine Reihe von Turbinenleitschaufeln 17 gefolgt von einer Reihe von Turbinenlaufschaufeln 16 beinhalten.

**[0036]** In einem Betriebsbeispiel kann die Drehung der Verdichterlaufschaufeln 14 innerhalb des Axialverdichters 11 einen Luftstrom verdichten. In der Brennkammer 12 kann Energie freigesetzt werden, wenn die verdichtete Luft mit einem Brennstoff vermischt und entzündet wird. Der sich dadurch ergebende Strom heißer Gase aus der Brennkammer 12, der als Arbeitsfluid bezeichnet werden kann, wird dann über die Turbinenlaufschaufeln 16 geleitet, wobei der Arbeitsfluidstrom die Drehung der Turbinenlaufschaufeln 16 um die Welle bewirkt. Dadurch wird die Strömungsenergie des Arbeitsfluids in die mechanische Energie der umlaufenden Schaufeln und, aufgrund der Verbindung zwischen den Laufschaufeln und der Welle, der rotierenden Welle umgesetzt. Die mechanische Energie der Welle kann dann zum Antreiben der Drehung der Verdichterlaufschaufeln 14, so dass die notwendige Zufuhr von verdichteter Luft erzeugt wird, und auch z.B. eines Generators zur Elektrizitätserzeugung verwendet werden.

**[0037]** Fig. 4 ist eine perspektivische Ansicht einer Turbinenlaufschaufel 16 des Typs, bei dem Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden können. Die Turbinenlaufschaufel 16 beinhaltet eine Wurzel 21, über die die Laufschaufel 16 an einem Laufrad angebracht wird. Die Wurzel 21 kann einen Schwabenschwanz beinhalten, der zum Einbau in einer entsprechenden Schwabenschwanznut im Außenrand des Laufrads gestaltet ist. Die Wurzel 21 kann ferner einen Schaft beinhalten, der zwischen dem Schwabenschwanz und einer Plattform 24 verläuft, die an der Verbindungsstelle des Schaufelblatts 25 und der Wurzel 21 angeordnet ist und einen Teil der innenliegenden Grenze des Strömungswegs durch die Turbine 13 definiert. Es ist zu beachten, dass das Schaufelblatt 25 die aktive Komponente der Laufschaufel 16 ist, die den Arbeitsfluidstrom abfängt und das Laufrad zum Drehen veranlasst. Die Schaufel in diesem Beispiel ist zwar eine Turbinenlaufschaufel 16, es ist aber zu beachten, dass die vorliegende Erfindung auch auf andere Schaufeltypen innerhalb der Turbinenmaschine 10 angewendet werden kann, einschließlich der Turbinenleitschaufeln 17. Es ist erkennbar, dass das Schaufelblatt 25 der Laufschaufel 16 eine konkave druckseitige Außenwand 26 und eine in Umfangsrichtung oder quer gegenüberliegende konvexe saugseitige Außenwand 27 beinhaltet, die sich axial zwischen einer Vorder- und einer Hinterkante 28 bzw. 29 erstrecken, die einander entgegengesetzt sind. Die Seitenwände 26 und 27 verlaufen auch von der Plattform 24 in der radialen Richtung zu einer außenliegenden Spitze 31. (Es ist zu beachten, dass die Anwendung der vorliegenden Erfindung möglicherweise nicht auf Turbinenlaufschaufeln beschränkt ist, sondern auch auf Leitschaufeln anwendbar ist. Die Nutzung von Laufschaufeln in den mehreren hierin beschriebenen Ausführungsformen ist, wenn nicht anders angegeben, beispielhaft.)

**[0038]** 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.

**[0039]** 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.

**[0040]** 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.

**[0041]** Im Allgemeinen hat die vierwandige Innenanordnung in einem Schaufelblatt 25 den Zweck, für effiziente wandnahe Kühlung zu sorgen, wobei die Kühlluft in Kanälen neben den Außenwänden 26, 27 des Schaufelblatts 25 strömt. Es ist zu beachten, dass wandnahe Kühlung vorteilhaft ist, weil die Kühlluft sich in enger Nähe der heißen Außenflächen des Schaufelblatts befindet, und die resultierenden Wärmeübergangskoeffizienten sind aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeit, die durch Drosselung des Durchflusses durch schmale Kanäle erzielt wird, hoch sind. Derartige Auslegungen sind aber dafür anfällig, aufgrund unterschiedlicher in dem Schaufelblatt 25 erfahrener Wärmeausdehnungsgrade eine Kurzzeitermüdung zu erfahren, die im Endeffekt die Lebensdauer der Laufschaufel verkürzen kann. Zum Beispiel ist die Wärmeausdehnung der saugseitigen Außenwände 27 im Betrieb größer als die der saugseitigen Skelettliniensrippe 64. Diese unterschiedliche Ausdehnung führt meist zur Vergrößerung der Länge der Skelettlinie des Schaufelblatts 25 und verursacht dadurch Belastungen zwischen jeder dieser Strukturen sowie jener Strukturen, die sie miteinander verbinden. Außerdem ist die Wärmeausdehnung der druckseitigen Außenwand 26 auch größer als die der kühleren druckseitigen Skelettliniensrippe 63. In diesem Fall führt die Differenz zur Verkürzung der Länge der Skelettlinie des Schaufelblatts 25 und verursacht dadurch Belastungen zwischen jeder dieser Strukturen sowie jener Strukturen, die sie miteinander verbinden. Die gegensätzlichen Kräfte innerhalb des Schaufelblatts, die in dem einen Fall zur Verkürzung der Schaufelblattskelettlinie tendieren und in dem anderen zu ihrer Verlängerung, können zu weiteren Belastungskonzentrationen führen. Die verschiedenen Arten, auf die sich diese Kräfte zeigen, werden angesichts der besonderen strukturellen Anordnung eines Schaufelblatts und der Art und Weise, wie die Kräfte dann ausgeglichen und kompensiert werden, zu einem bedeutenden bestimmenden Faktor der Teillebensdauer der Laufschaufel 16.

**[0042]** Spezieller neigt in einer üblicheren Situation die saugseitige Außenwand 27 dazu, sich am Scheitelpunkt ihrer Krümmung nach außen zu biegen, wenn der Kontakt mit den hohen Temperaturen des Heißgaswegs sie zur Wärmeausdehnung veranlasst. Es ist zu erkennen, dass die saugseitige Skelettliniensrippe 64, die eine Innenwand ist, nicht den gleichen Wärmeausdehnungsgrad erfährt und daher nicht die gleiche Tendenz hat, sich nach außen zu biegen. Die Skelettliniensrippe 64 widersteht dann der wärmebedingten Vergrößerung der Außenwand 27. Weil konventionelle Konstruktionen Skelettliniensrippen 62 haben, die mit steifen Geometrien, die wenig oder keine Nachgiebigkeit bieten, ausgebildet sind, können die sich daraus ergebenden Widerstands- und Belastungskonzentrationen beträchtlich sein. Das Problem wird noch dadurch erschwert,

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

**[0043]** 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 ange-sichts dessen, wie sich Schaufelblätter während des Betriebs wärmebedingt ausdehnen.

**[0044]** Die vorliegende Erfindung lehrt allgemein gewisse sich krümmende oder blasenartige oder sinusförmige oder wellige Innenrippen (im Folgenden „wellige Rippen“), die unausgeglichene Wärmebelastungen beseitigen, die oft im Schaufelblatt von Turbinenschaufeln auftreten. Im Rahmen dieses allgemeinen Konzepts beschreibt die vorliegende Erfindung mehrere Methoden, wie dies erreicht werden kann, zu denen wellige Skeletlinienrippen 62 und/oder Querrippen 66 sowie gewisse Typen von abgewinkelten Verbindungen zwischen ihnen zählen. Es ist zu beachten, dass diese neuen Anordnungen -

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

**[0045]** **Fig. 6** bietet Querschnittsansichten einer Turbinenlaufschaufel 16 mit einer Innenwandanordnung gemäß einem Ausführungsbeispiel, das nicht zu der vorliegenden Erfindung, wie beansprucht, gehört. Speziell beinhaltet die Innenwandanordnung eine 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. Wie dargestellt, beinhaltet eine Rippenanordnung eine Skeletlinienrippe 62 mit einem welligen Profil (es ist vorgesehen, dass sich der Begriff „Profil“, wie hierin verwendet, auf die Form bezieht, die die Rippen in den Querschnittsansichten der **Fig. 6** haben). Eine Skeletlinienrippe 62, wie oben beschrieben, ist eine der längeren Rippen, die sich gewöhnlich von einer Position nahe der Vorderkante 28 des Schaufelblatts 25 in Richtung auf die Hinterkante 29 erstreckt. Diese Rippen werden als „Skeletlinienrippen“ bezeichnet, weil der von ihnen beschriebene Weg etwa parallel zur Skeletlinie des Schaufelblatts 25 ist, die eine Bezugslinie ist, die zwischen der Vorderkante 28 und der Hinterkante 29 des Schaufelblatts 25 durch eine Sammlung von Punkten verläuft, die den gleichen Abstand zwischen der konkaven druckseitigen Außenwand 26 und der konvexen saugseitigen Außenwand 27 haben. Gemäß der vorliegenden Erfindung beinhaltet ein „welliges Profil“ eines, das eine merklich gekrümmte und sinusförmige Form hat, wie angedeutet. Das heißt, das „wellige Profil“ ist eines, das ein hin- und hergehendes „S“-Profil darstellt, wie in **Fig. 6** ange-deutet.

**[0046]** Das bzw. die mit dem Wellenprofil gestaltete Segment oder Länge der Skeletlinienrippe 62 kann in Abhängigkeit von Konstruktionskriterien variieren. In den gegebenen Beispielen erstreckt sich die wellige Skeletlinienrippe 62 gewöhnlich von einer Position nahe der Vorderkante 28 des Schaufelblatts 25 zu einer Position, die jenseits des Mittelpunkts der Skeletlinie des Schaufelblatts 25 liegt. Es ist zu beachten, dass der wellige Teil der Skeletlinienrippe 62 eine kürzere Länge haben kann, während er noch die gleichen hierin besprochenen Typen von Leistungsvorteilen ergibt. Die Zahl der Krümmungen sowie die Länge des welligen Segments der Skeletlinienrippe 62 können zum Erzielen der besten Ergebnisse variiert werden. In gewissen Ausführungsformen wird die wellige Skeletlinienrippe 62 der vorliegenden Erfindung von der Zahl vollständiger hin- und hergehender „S“-Formen definiert, die sie enthält. In einer bevorzugten Ausführungsform dieses Typs beinhaltet die wellige Skeletlinienrippe 62 wenigstens eine kontinuierliche hin- und hergehende „S“-Form. In einer weiteren Ausführungsform beinhaltet die wellige Skeletlinienrippe 62 wenigstens zwei aufeinanderfolgende und kontinuierliche hin- und hergehende „S“-Formen. Bezüglich der Gesamtlänge kann das wellige Segment der Skeletlinienrippe 62 über einen beträchtlichen Teil der Länge der Skeletlinie des Schaufelblatts 25 hinweg verlaufen. Zum Beispiel, 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.

**[0047]** 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 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.

**[0048]** 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 Turbinenschaufel 16, 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 das wellige Rippenprofil auch in Anordnungen mit nur einer einzelnen Skeletlinienrippe 62 eingesetzt werden kann.

**[0049]** 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 konkave Segment in ein vierter konvexes Segment übergeht.

**[0050]** Die Innenstruktur eines Schaufelblatts kann 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 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 Anordnung nach **Fig. 6** einen federartigen Aufbau vor, der Belastungskonzentrationen besser verstreuen kann, was, wie hierin vorgesehen, zur Verbesserung der Lebensdauer des Bauteils verwendet werden kann.

**[0051]** **Fig. 7**, die ein Ausführungsbeispiel zeigt, das als solches nicht zu der beanspruchten Erfindung gehört, 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, nachstehend näher erläuterten Erfindung genutzt werden können, und wird in Bezug auf **Fig. 8** weiter besprochen.

**[0052]** Fachkundige Personen werden erkennen, dass bei der Verwendung gewisser Herstellungs-technologien 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 Wärmedämmsschicht 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.

**[0053]** 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.

**[0054]** 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 Aufschlagpunkt 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 „Aufschlagpunkt“ genannt werden kann. Es ist zu beachten, dass diese Positionie-

rungsmethode 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.

**[0055]** 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 Querschnittfläche angeordnet sein, die einer Querschnittfläche der Mündung des Lochs 57 entspricht. In gewissen Ausführungsformen ist die Mündung der Rückschlagaussparung 56 mit einer Querschnittfläche angeordnet, die größer oder knapp größer als eine Querschnittfläche 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 ein(e) kreisförmige(s) Form oder 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.

**[0056]** 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.

**[0057]** 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 ange deutet, kann auch relativ zur Mittelachse 58 des Lochs 57 positioniert sein.

**[0058]** 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 57 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 Rückschlag aussparung 56 kann als eine längliche Ausnehmung ausgebildet sein, die steile laterale Seiten und einen gekrümmten, konkaven Boden hat.

**[0059]** 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 nicht alle möglichen Iterationen bereitgestellt oder ausführlich besprochen. Außerdem können fachkundige Personen anhand der obigen Beschreibung mehrerer beispielhafter Ausführungsformen der Erfindung Verbesserungen, Änderungen und Modifikationen innerhalb des Schutzmfangs der vorlie-

genden Erfindung erkennen, wie er durch die beige-fügten Patentansprüche definiert ist.

**[0060]** Turbinenschaufel mit einem Schaufelblatt, das von einer konkav geformten druckseitigen Außenwand und einer konvex geformten saugseiti-gen 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 Aufschlagpunkt auf der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs definieren und auf der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs kann eine Rückschlagaußsparung zum Fassen des Aufschlagpunkts positioniert sein.

### Patentansprüche

1. Turbinenschaufel mit einem Schaufelblatt (25), das von einer konkav geformten druckseitigen Außenwand (26) und einer konvex geformten saugseitigen Außenwand (27) definiert ist, die an einer Vorder- und Hinterkante (28, 29) entlang miteinander verbunden sind und dazwischen eine radial verlaufende Kammer zur Aufnahme eines Kühlmittelstroms bilden, wobei die Turbinenschaufel ferner Folgendes aufweist:  
eine Rippenanordnung, die die Kammer unterteilt und einen Strömungsdurchgang (40) mit einer ersten Seite und einer zweiten Seite definiert, wobei der Strömungsdurchgang (40) ein Loch (57) beinhaltet, das durch die erste Seite ausgebildet ist, wobei eine Projektion einer Mittelachse (58) des Lochs (57) durch den Strömungsdurchgang (40) einen Aufschlagpunkt auf der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs (40) definiert und wobei auf der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs (40) eine Rückschlagaußsparung (56) zum Fassen des Aufschlagpunkts positioniert ist.

2. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, wobei das Loch (57) von einer Mündung, die an einer Oberfläche der ersten Seite des Strömungsdurchgangs (40) definiert ist, zu einem an einer Außenfläche des Schaufelblatts (25) ausgebildeten Auslass des Schaufelblatts (25) verläuft, wobei der Strömungsdurchgang (40) einen wandnahen Strömungsdurchgang (40) umfasst und wobei die Turbinenschaufel eine Turbinenlaufschau-fel (16) umfasst und wobei die Rückschlagaußsparung (56) von einer Mündung, die an einer Oberfläche der zweiten Seite definiert ist, in die zweite Seite hinein verläuft.

3. Turbinenschaufel nach Anspruch 2, wobei die Mündung der Rückschlagaußsparung (56) eine Querschnittfläche umfasst, die einer Querschnittfläche der Mündung des Lochs (57) entspricht, oder die Mündung der Rückschlagaußsparung (56) eine Querschnittfläche umfasst, die größer als eine Quer-schnittfläche der Mündung des Lochs (57) ist.

4. Turbinenschaufel nach Anspruch 2, wobei die Rückschlagaußsparung (56) eine Ausnehmung mit steilen Seiten umfasst, die einen Boden hat, wobei der Boden eine gekrümmte, konkave Form hat, wobei sie ferner eine Ausbeulung (59) in einem benachbarten Strömungsdurchgang (40) aufweist, die zur Erhaltung der Mindestrippendicke um die Rückschlagaußsparung (56) angeordnet ist, und/o-der wobei die Mündung des Lochs (57) und die Mündung der Rückschlagaußsparung (56) beide kreisförmige Formen aufweisen.

5. Turbinenschaufel nach Anspruch 2, wobei die erste Seite und die zweite Seite einander entgegen-gesetzte Seiten des Strömungsdurchgangs (40) umfassen.

6. Turbinenschaufel nach Anspruch 5, wobei die erste Seite die druckseitige Außenwand (26) oder die saugseitige Außenwand (27) des Schaufelblatts (25) umfasst und wobei die zweite Seite eine Ske-lettlinienrippe (62, 63, 64) aufweist.

7. Turbinenschaufel nach Anspruch 6, wobei die Skelettlinienrippe (62, 63, 64) ein welliges Profil auf-weist, bei dem die Skelettlinienrippe (62, 63, 64) wenigstens eine kontinuierliche hin- und herge-hende „S“-Form beinhaltet.

8. Turbinenschaufel nach Anspruch 2, wobei die erste Seite und die zweite Seite angrenzende Seiten des Strömungsdurchgangs (40) umfassen und/oder wobei die erste Seite die druckseitige Außenwand (26) oder die saugseitige Außenwand (27) umfasst und wobei die zweite Seite eine Querrippe (66, 67, 68) umfasst.

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

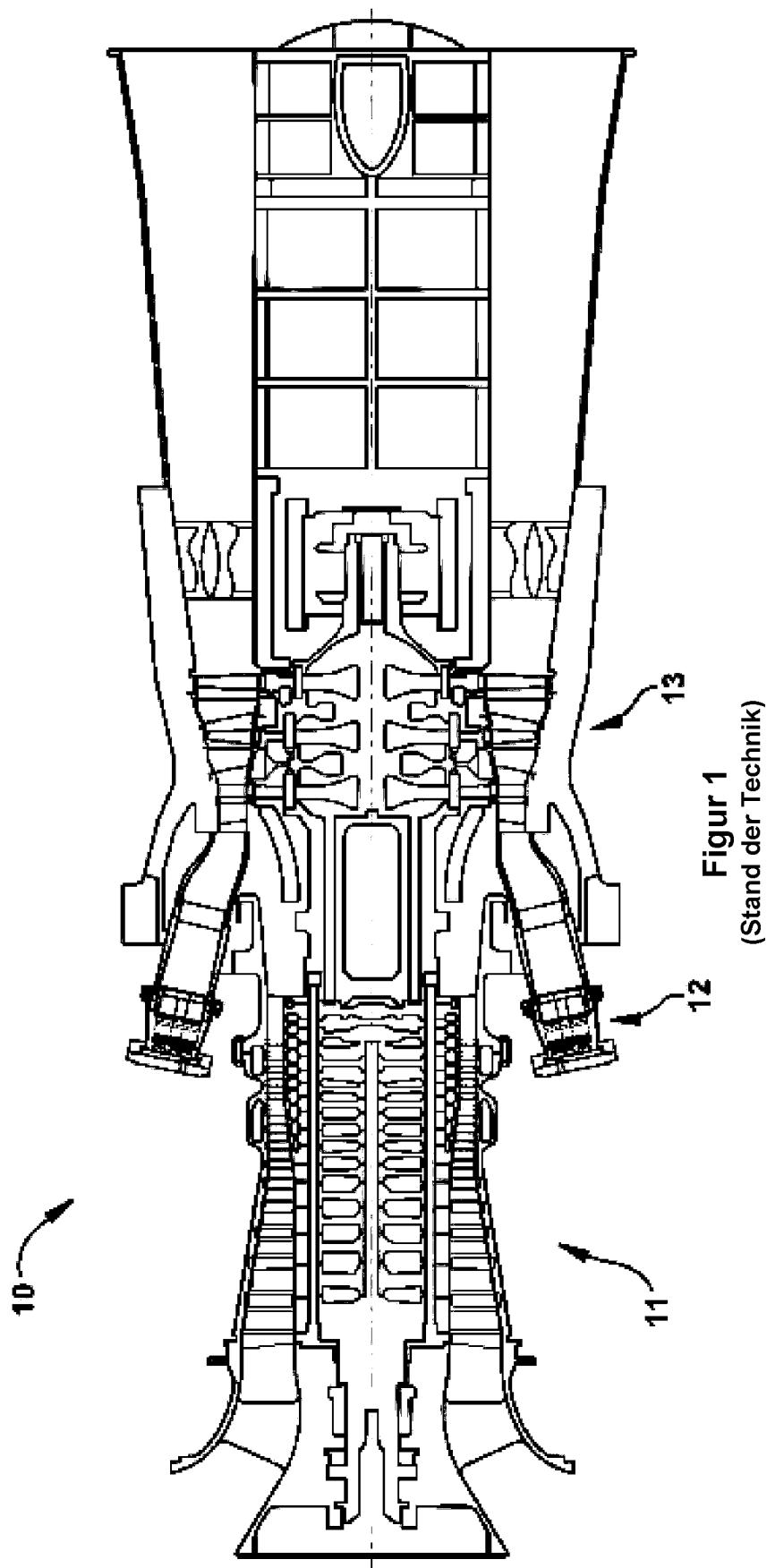
eine Rippenanordnung, die die Kammer unterteilt und einen Strömungsdurchgang (40) mit einer ersten Seite und einer zweiten Seite definiert, wobei die erste Seite ein Loch (57) aufweist, wobei das Loch (57) eine Mündung an einer Oberfläche der ersten Seite definiert und linear durch eine

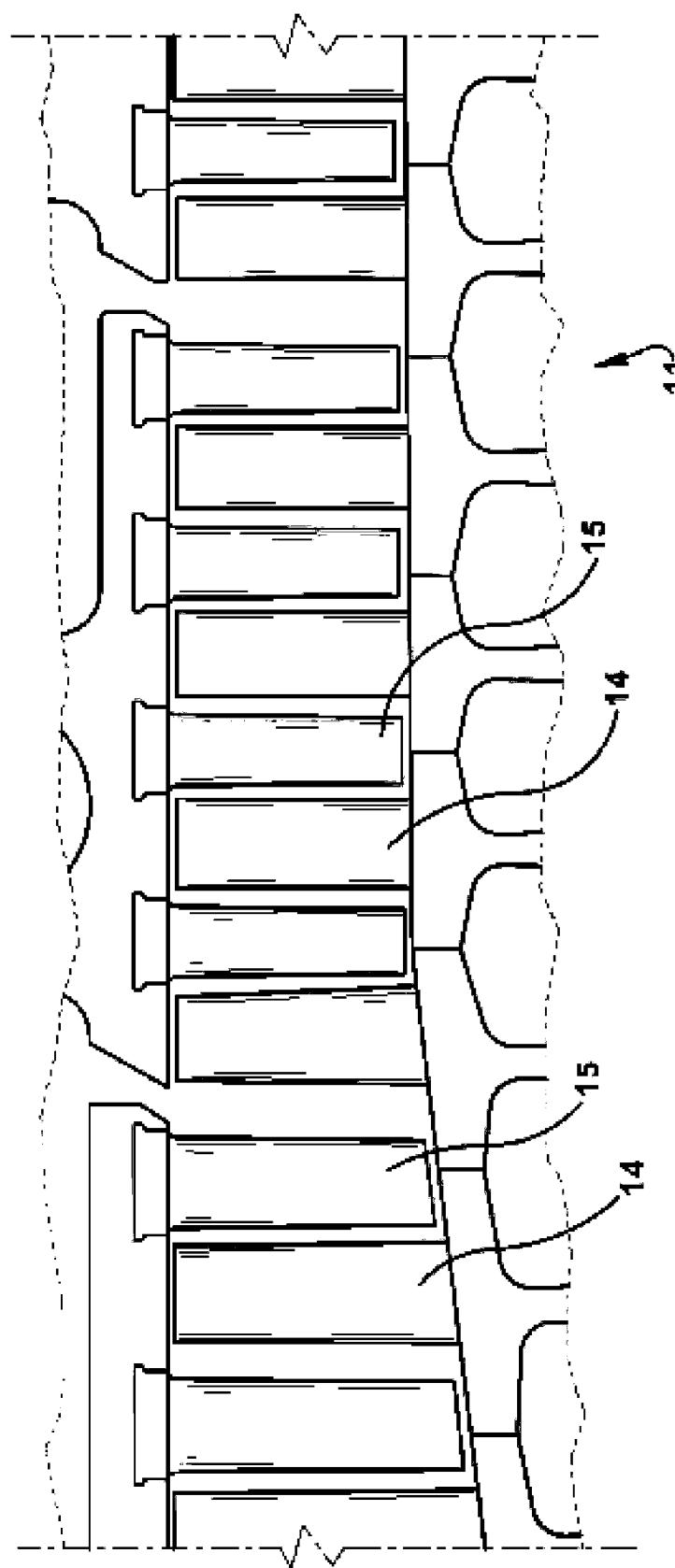
Wand der ersten Seite verläuft und eine Mittelachse (58) definiert, wobei die zweite Seite eine Rückschlagaussparung (56) aufweist, wobei die Rückschlagaussparung (56) eine Mündung an einer Oberfläche der zweiten Seite definiert und in eine Wand der zweiten Seite in Richtung auf einen Boden verläuft, wobei eine Projektion einer Querschnittsform der Mündung des Lochs (57) an einer Projektion der Mittelachse (58) des Lochs (57) entlang eine Aufschlagregion an der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs (40) definiert und wobei die Mündung der Rückschlagaussparung (56) der Aufschlagregion an der zweiten Seite entspricht.

10. Turbinenschaufel, die ein Schaufelblatt (25) aufweist, das von einer konkav geformten druckseitigen Außenwand (26) und einer konvex geformten saugseitigen Außenwand (27) definiert ist, die an einer Vorder- und Hinterkante (28, 29) entlang miteinander verbunden sind und dazwischen eine radial verlaufende Kammer zur Aufnahme eines Kühlmittelstroms bilden, wobei die Turbinenschaufel ferner Folgendes aufweist:  
eine Rippenanordnung, die die Kammer unterteilt und einen Strömungsdurchgang (40) mit einer ersten Seite und einer zweiten Seite definiert, wobei die erste Seite Löcher (57) aufweist, die an einer gemeinsamen Achse entlang voneinander beabstandet sind, wobei jedes Loch (57) eine durch es hindurch definierte Mittelachse (58) aufweist, die, wenn durch den Strömungsdurchgang projiziert, einen Aufschlagpunkt an der zweiten Seite des Strömungsdurchgangs (40) definiert, und wobei die zweite Seite eine oder mehrere Rückschlagaussparungen (56) aufweist, die positioniert sind, um jeden Aufschlagpunkt einzuschließen.

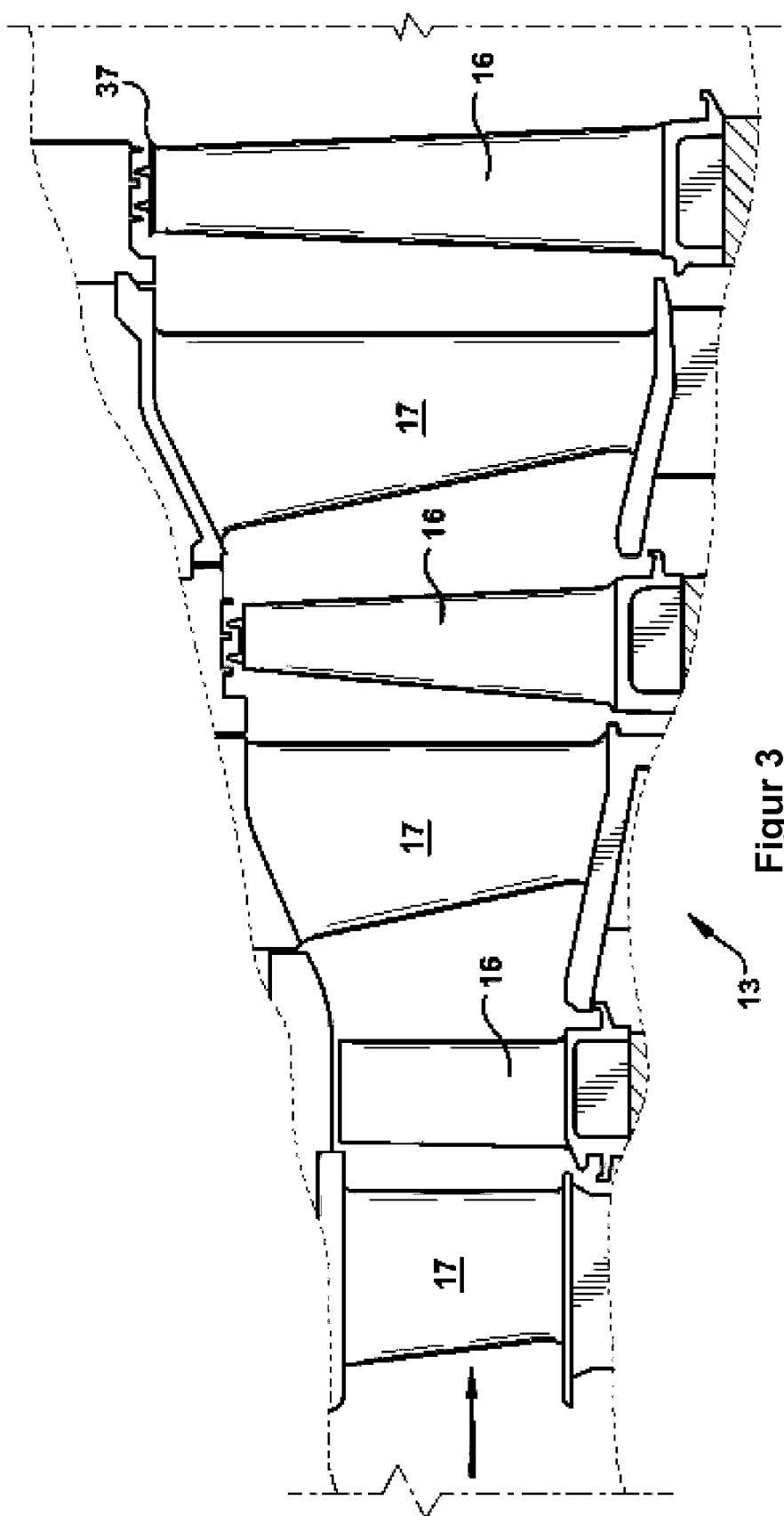
Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

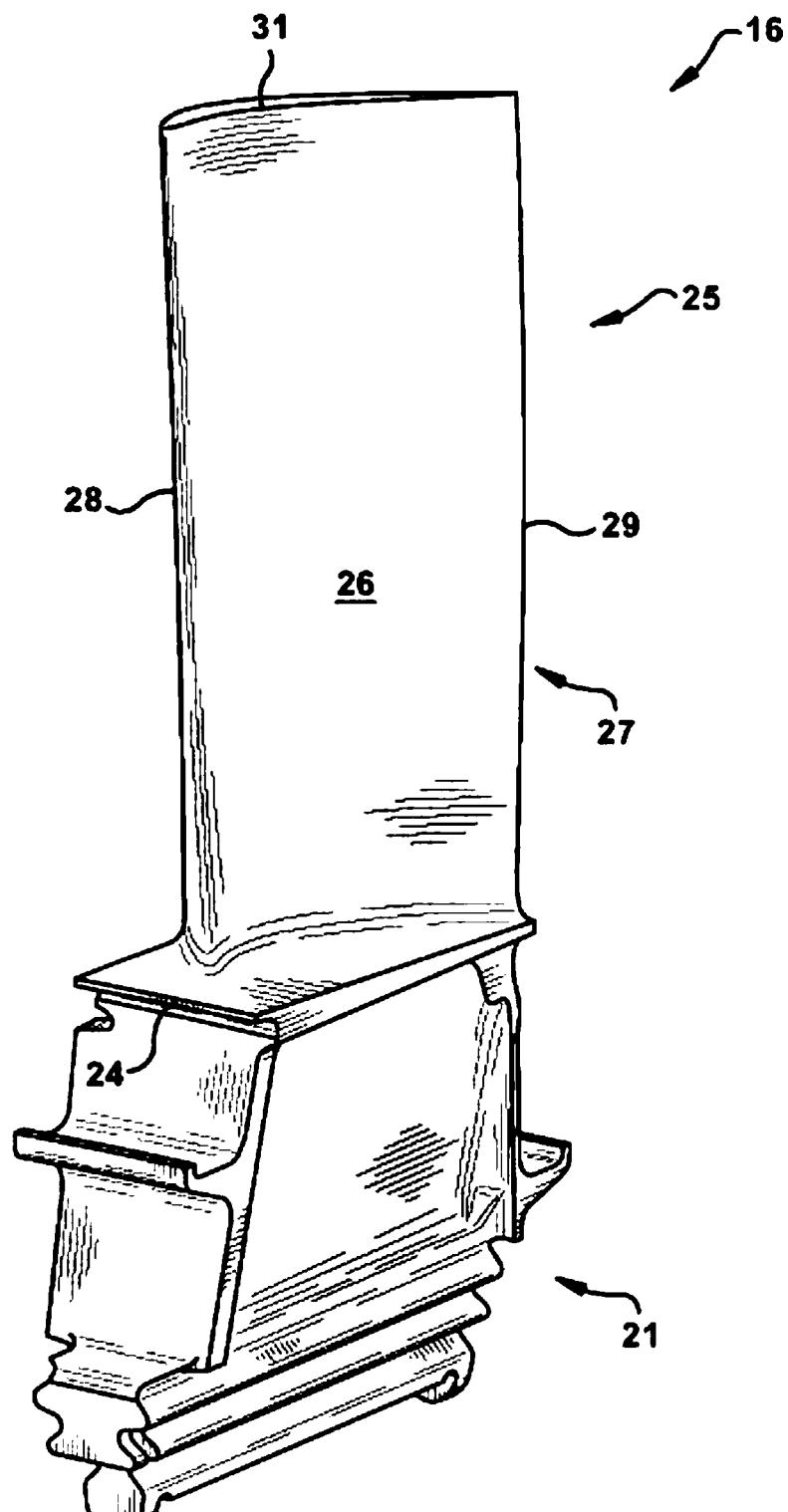




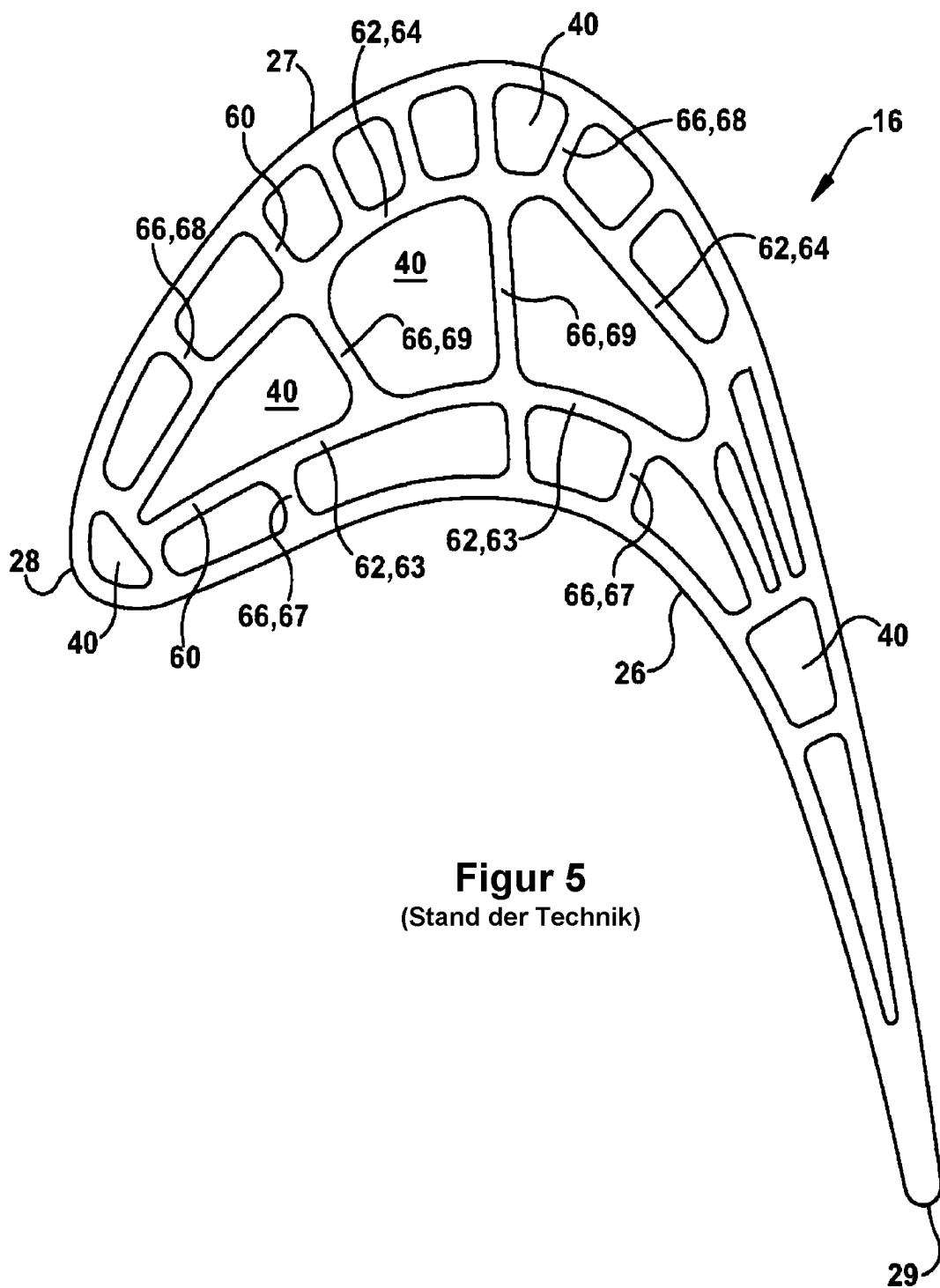
**Figur 2**  
(Stand der Technik)



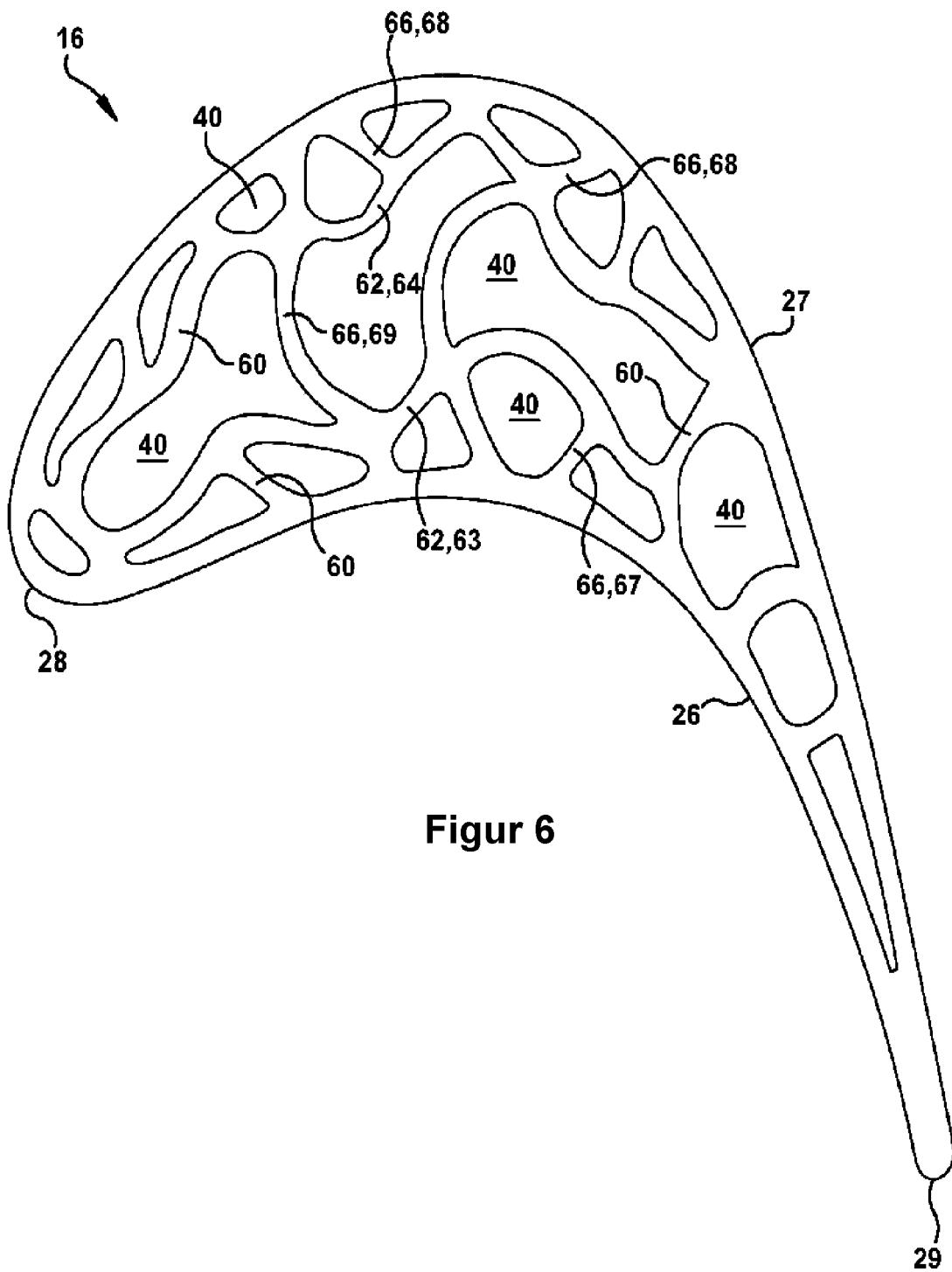
**Figur 3**  
(Stand der Technik)



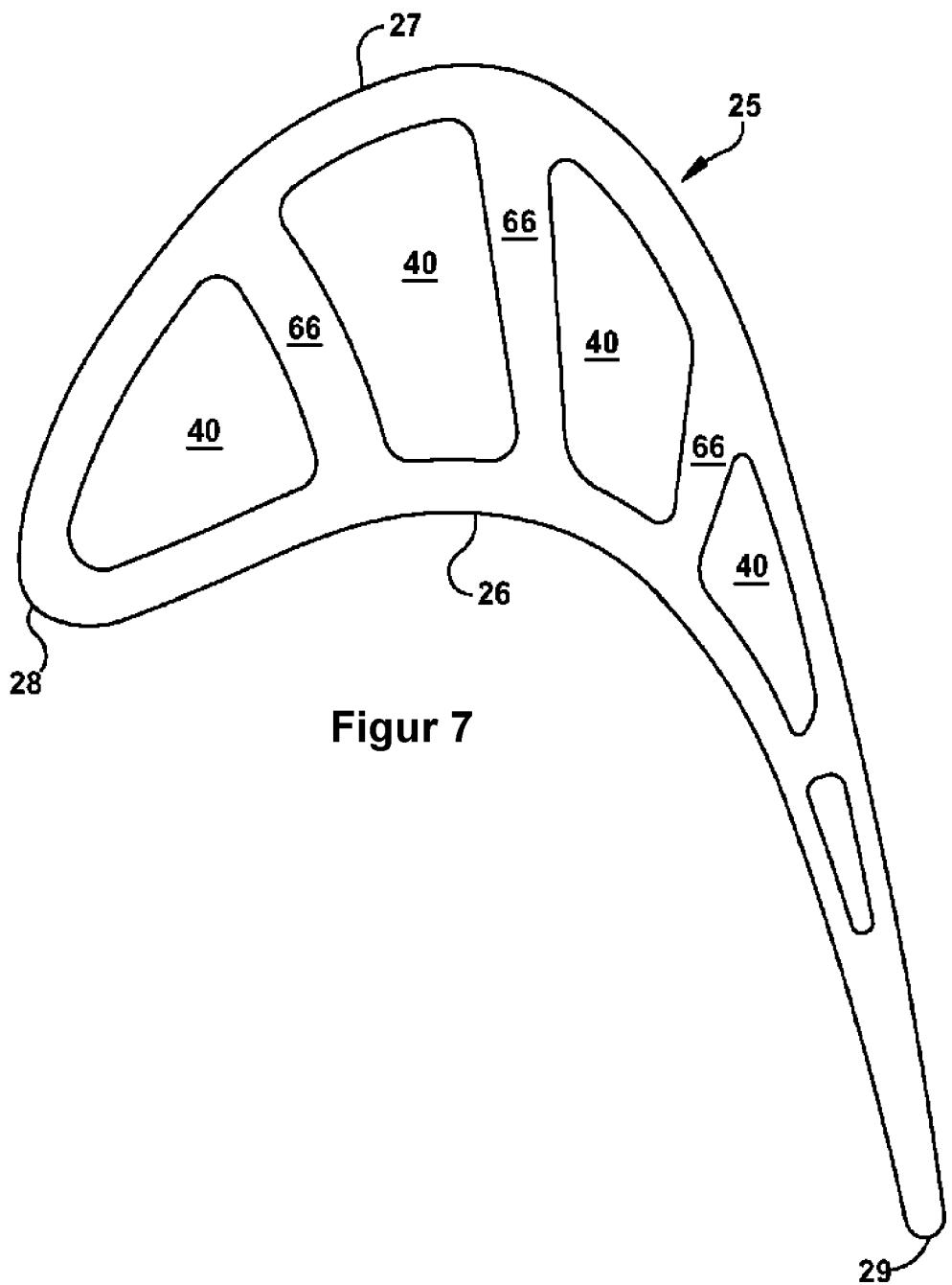
**Figur 4**  
(Stand der Technik)



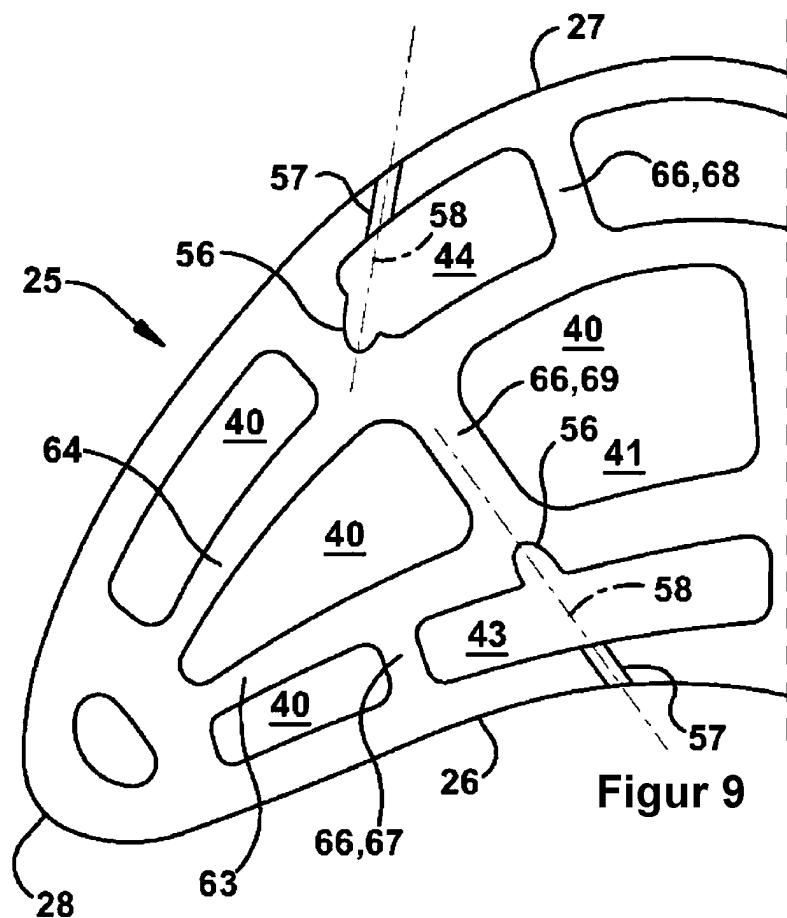
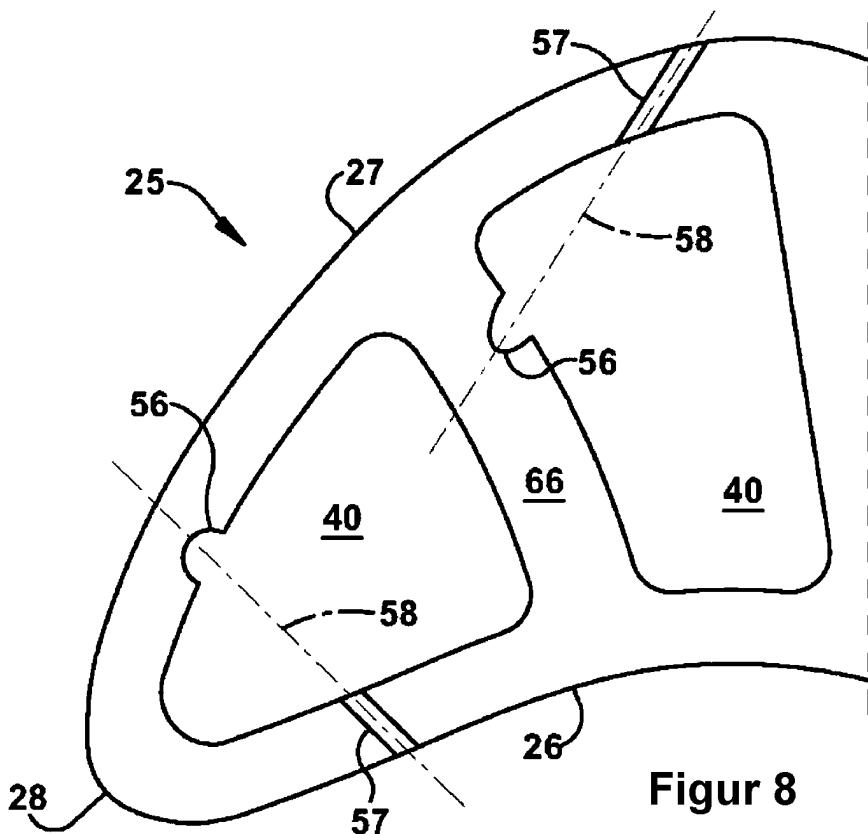
**Figur 5**  
(Stand der Technik)

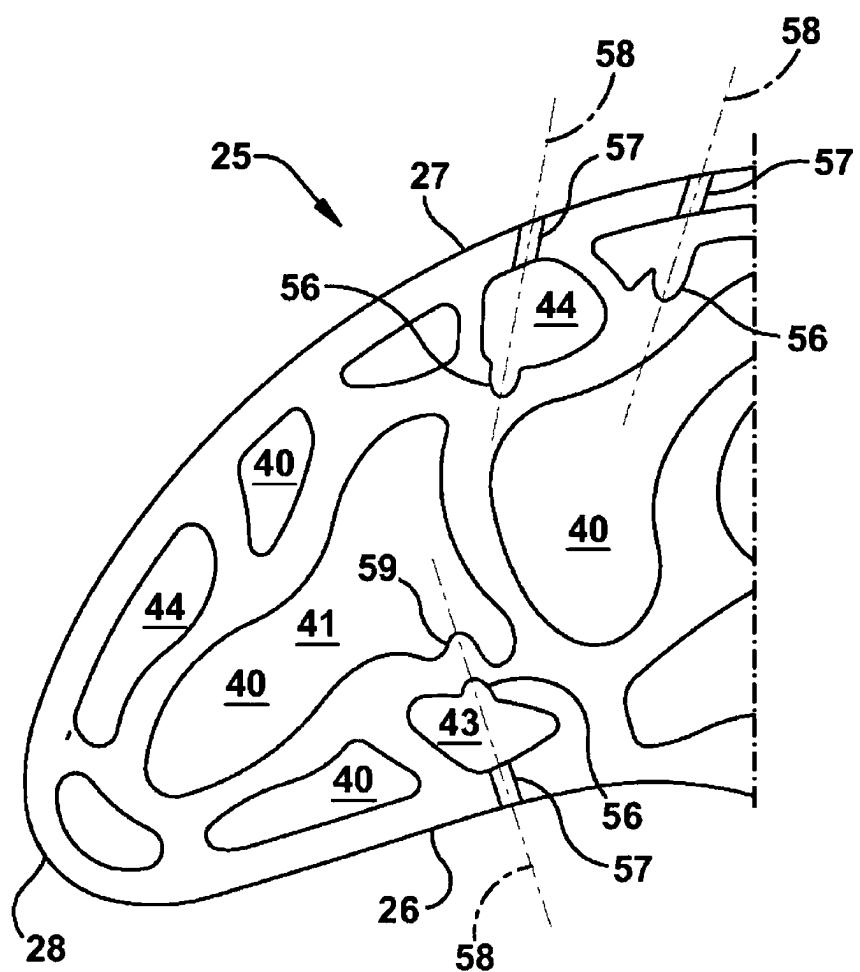


**Figur 6**



Figur 7





**Figur 10**