

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 709 095 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: 02041/14

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

(22) Anmeldedatum: 29.12.2014

(72) Erfinder:
Gregory Thomas Foster, Greenville, SC 29615 (US)
Lisa Anne Wichmann, Greenville, SC 29615-4614 (US)
Brian Denver Potter, Greenville, SC 29615 (US)
Aaron Ezekiel Smith, Niskayuna, NY 12309 (US)

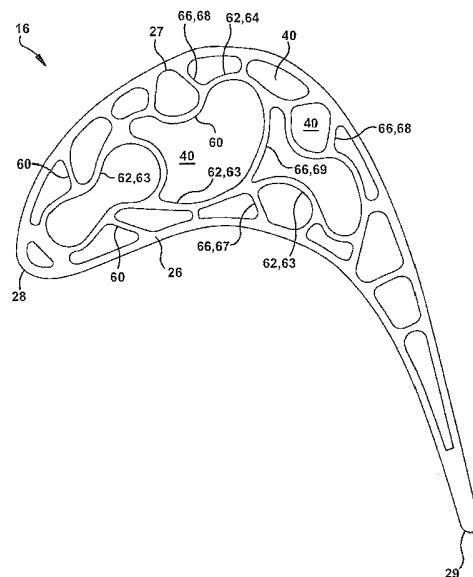
(43) Anmeldung veröffentlicht: 30.06.2015

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

(30) Priorität: 30.12.2013 US 14/143,443

(54) Turbinenschaufel mit einer Kammer zur Aufnahme des Stroms eines Kühlmittels.

(57) Eine Turbinenschaufel (16) weist ein Profil auf, das durch eine konkav geformte Aussenwand (26) auf der Druckseite und eine konvex geformte Aussenwand (27) auf der Saugseite definiert ist, die entlang einer Vorder- und Hinterkante (28, 29) verbunden sind und dazwischen eine radial verlaufende Kammer zum Aufnehmen des Stroms eines Kühlmittels bilden. Die Turbinenschaufel (16) weist ferner eine Rippenanordnung (60, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 69) auf, die die Kammer in radial verlaufende Strömungskanäle (40) unterteilt. Die Rippenanordnung weist eine Wölbungslinienrippe mit einem Wellenprofilquerschnitt auf. Der Wellenprofilquerschnitt kann mindestens eine hin- und hergehende «S»-Form aufweisen.



Beschreibung

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

[0001] Diese Erfindung betrifft Turbinenprofile und insbesondere hohle Turbinenprofile, wie Laufschaufeln oder Leitschaufeln, mit Innenkanälen zum Hindurchleiten von Fluiden wie Luft zum Kühlen der Profile.

[0002] Verbrennungs- oder Gasturbinen (nachfolgend «Gasturbinen») weisen einen Verdichter, eine Brennkammer und eine Turbine auf. Wie im Fachgebiet weithin bekannt ist, wird im Verdichter verdichtete Luft zur Energieerzeugung in der Brennkammer mit Brennstoff gemischt und gezündet und dann durch die Turbine hindurch expandiert. Die Bauteile in der Turbine, insbesondere die in Umfangsrichtung angeordneten Lauf- und Leitschaufeln, sind einer schädlichen Umgebung ausgesetzt, die durch die extrem hohen Temperaturen und Drücke der Verbrennungsprodukte gekennzeichnet ist, die dort hindurch expandiert werden. Damit sie der wiederholten thermischen Wechselbeanspruchung sowie den extremen Temperaturen und mechanischen Beanspruchungen dieser Umgebung standhalten, müssen die Profile stabil aufgebaut sein und aktiv gekühlt werden.

[0003] Wie zu erkennen ist, enthalten Turbinenlauf- und -leitschaufeln häufig innere Verbindungsgänge oder Kreisläufe, die ein Kühlsystem bilden, durch das ein Kühlmittel, üblicherweise aus dem Verdichter entnommene Luft, geführt wird. Derartige Kühlkreisläufe werden üblicherweise von Innenrippen gebildet, die für die notwendige Strukturverstärkung des Profils sorgen, und weisen mehrere Strömungswege auf, die so ausgestaltet sind, dass sie das Profil innerhalb eines akzeptablen Temperaturprofils halten. Die durch diese Kühlkanäle strömende Luft wird häufig durch Filmkühlungsöffnungen abgeleitet, die an der Vorderkante, Hinterkante, Saugseite und Druckseite des Profils ausgebildet sind.

[0004] Es ist zu erkennen, dass der Wirkungsgrad von Gasturbinen mit steigenden Verbrennungstemperaturen steigt. Es besteht deshalb kontinuierlich Bedarf an technologischen Fortschritten, mit denen Turbinenschaufeln immer höheren Temperaturen standhalten können. Diese Fortschritte umfassen manchmal neue Werkstoffe, die in der Lage sind, den höheren Temperaturen standzuhalten, umfassen jedoch genauso oft eine Verbesserung der inneren Gestaltung des Profils zur Optimierung des Schaufelaufbaus und der Kühlbarkeit. Da durch den Einsatz von Kühlmittel jedoch der Wirkungsgrad der Kraftmaschine sinkt, wird mit neuen Anordnungen, die zu stark auf einen stärkeren Kühlmitteleinsatz angewiesen sind, lediglich ein Leistungsverlust gegen einen anderen ausgetauscht. Es besteht folglich weiter Bedarf an neuen Profilausgestaltungen, die eine innere Gestaltung der Profile und eine Kühlmittelführung bereitstellen, mit denen die Kühlmittelwirkung verbessert wird.

[0005] Eine Überlegung, die die Ausgestaltung von innen gekühlten Profilen weiter erschwert, ist das Temperaturgefalle, das sich während des Betriebs zwischen der Innen- und Aussen-Struktur der Profile ausbildet. Da sie dem Einfluss des Heissgaswegs ausgesetzt sind, befinden sich die Aussenwände des Profils während des Betriebs üblicherweise bei viel höheren Temperaturen als viele der Innenrippen, bei denen beispielsweise möglicherweise Kühlmittel durch an jeder Seite davon definierte Gänge strömt. Eine übliche Profilgestaltung weist tatsächlich eine Anordnung mit vier Wänden auf, bei der sehr lange Innenrippen parallel zu den Aussenwänden auf der Druck- und Saugseite verlaufen. Es ist bekannt, dass eine hohe Kühlwirkung mit den nahe den Wänden befindlichen Strömungskanälen erreicht werden kann, die in der Anordnung mit vier Wänden ausgebildet sind, die Aussenwände jedoch eine deutlich stärkere Wärmeausdehnung erfahren als die Innenwände. Diese unausgewogene Ausdehnung bewirkt, dass sich an den Stellen, an denen die Innenrippen und die Aussenwände verbunden sind, Spannung aufbaut, die eine Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl verursachen kann, die die Lebensdauer der Schaufel verkürzen kann. Die Entwicklung von Profilstrukturen, mit denen Kühlmittel effizienter genutzt werden, während gleichzeitig auch Beanspruchungen vermindert werden, die durch eine unausgeglichene Wärmeausdehnung zwischen Innen- und Aussenbereichen bewirkt werden, bleibt damit ein wichtiger Einwand der Technologiebranche.

KURZE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0006] Ein Aspekt der Erfindung ist eine Turbinenschaufel, die ein Profil umfasst, das durch eine konkav geformte Aussenwand auf der Druckseite und eine konvex geformte Aussenwand auf der Saugseite definiert ist, die entlang einer Vorder- und Hinterkante verbunden sind und dazwischen eine radial verlaufende Kammer zum Aufnehmen des Stroms eines Kühlmittels bilden, wobei die Turbinenschaufel ferner umfasst: eine Rippenanordnung, die die Kammer in radial verlaufende Strömungskanäle unterteilt; wobei die Rippenanordnung eine Wölbungslinienrippe mit einem Wellenprofilquerschnitt aufweist.

[0007] Der Wellenprofilquerschnitt kann mindestens eine hin- und hergehende «S»-Form aufweisen; wobei die Turbinenschaufel eine Turbinenlaufschaufel oder eine Turbinenleitschaufel umfassen kann.

[0008] Der Wellenprofilquerschnitt jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel kann mindestens zwei aufeinander-folgende hin- und hergehende «S»-Formen umfassen, wobei die Turbinenschaufel eine Turbinenlaufschaufel umfassen kann.

[0009] Eine Wölbungslinienrippe jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel kann einen Wellenprofilquerschnitt aufweisen, der einen umfasst, der in Richtung der Vorderkante des Profils beginnt und sich über einen Bogenweg, der in Richtung der Hinterkante des Profils verläuft, hin- und herwindet, wobei der Bogenweg ungefähr parallel zu einer Wölbungslinienrippe verläuft.

bungsbezugslinie des Profils verläuft; wobei der Bogenweg der Wölbungslinienrippe eine Länge aufweisen kann, die mindestens 15% einer Länge der Wölbungsbezugslinie des Profils beträgt.

[0010] Die Wölbungslinienrippe jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel kann einen Wellenprofilquerschnitt aufweisen, der einen umfasst, der nahe der Vorderkante des Profils beginnt und sich über einen Bogenweg, der in Richtung der Hinterkante des Profils verläuft, hin- und herwindet, wobei der Bogenweg ungefähr parallel zu einer Wölbungsbezugslinie des Profils verläuft; wobei der Bogenweg der Wölbungslinienrippe eine Länge aufweisen kann, die mindestens 50% einer Länge der Wölbungsbezugslinie des Profils beträgt.

[0011] Die Rippenanordnung jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel kann zwei Wölbungslinienrippen aufweisen, bei denen eine Wölbungslinienrippe auf der Druckseite eine umfasst, die sich nahe der Aussenwand auf der Druckseite befindet, und eine Wölbungslinienrippe auf der Saugseite eine umfasst, die sich nahe der Aussenwand auf der Saugseite befindet; wobei die Wölbungslinienrippe, die den Wellenprofilquerschnitt aufweist, die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite und/oder die Wölbungslinienrippe auf der Saugseite umfasst; und wobei der Wellenprofilquerschnitt für die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite und/oder die Wölbungslinienrippe auf der Saugseite einen umfassen kann, der bezogen auf den mittigen Strömungskanal mindestens zwei aufeinander-folgende Segmente aufweist, bei denen ein erstes konkaves Segment in ein zweites konvexes Segment übergeht.

[0012] Die Rippenanordnung jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel kann zwei Wölbungslinienrippen aufweisen, bei denen eine Wölbungslinienrippe auf der Druckseite eine umfasst, die sich nahe der Aussenwand auf der Druckseite befindet, und eine Wölbungslinienrippe auf der Saugseite eine umfassen kann, die sich nahe der Aussenwand auf der Saugseite befindet, wobei sowohl die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite als auch die Wölbungslinienrippe auf der Saugseite einen Wellenprofilquerschnitt umfassen kann; und wobei die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite und die Wölbungslinienrippe auf der Saugseite einen mittigen Strömungskanal dazwischen definieren können.

[0013] Der Wellenprofilquerschnitt für die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite wie auch die Wölbungslinienrippe auf der Saugseite jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel kann einen umfassen, der bezogen auf den mittigen Strömungskanal mindestens zwei aufeinanderfolgende Segmente aufweist, bei denen ein erstes konkaves Segment in ein zweites konvexes Segment übergeht.

[0014] Der Wellenprofilquerschnitt für die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite wie auch die Wölbungslinienrippe auf der Saugseite jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel kann einen umfassen, der bezogen auf den mittigen Strömungskanal mindestens vier aufeinanderfolgende Segmente aufweist, bei denen ein erstes konkaves Segment in ein zweites konvexes Segment übergeht und das zweite konvexe Segment in ein drittes konkaves Segment übergeht und das dritte konkave Segment in ein vieres konvexes Segment übergeht.

[0015] Der Wellenprofilquerschnitt für die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite wie auch die Wölbungslinienrippe auf der Saugseite jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel kann einen umfassen, der bezogen auf den mittigen Strömungskanal mindestens drei hintereinander gesetzte konvexe Segmente aufweist.

[0016] Der Wellenprofilquerschnitt für die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite wie auch die Wölbungslinienrippe auf der Saugseite jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel kann einen umfassen, der bezogen auf den mittigen Strömungskanal mindestens drei hintereinander gesetzte konkave Segmente aufweist.

[0017] Die Rippenanordnung jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel kann Querrippen umfassen; wobei jede der Querrippen eine umfassen kann, die so ausgelegt ist, dass sie quer über das Profil verläuft, damit sie eine der Wölbungslinienrippen mit der Aussenwand auf der Druckseite, der Aussenwand auf der Saugseite und/oder der anderen Wölbungslinienrippe verbindet.

[0018] Die Aussenwand auf der Druckseite und die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel können einen Druckseiten-Strömungskanal dazwischen definieren; und die Aussenwand auf der Saugseite und die Wölbungslinienrippe auf der Saugseite können einen Saugseiten-Strömungskanal dazwischen definieren.

[0019] Die Rippenanordnung jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel kann umfassen: Querrippen auf der Druckseite, die die Aussenwand auf der Druckseite mit der Wölbungslinienrippe auf der Druckseite verbinden und dadurch den Druckseiten-Strömungskanal unterteilen; Querrippen auf der Saugseite, die die Aussenwand auf der Saugseite mit der Wölbungslinienrippe auf der Saugseite verbinden und dadurch den Saugseiten-Strömungskanal unterteilen; und mindestens eine mittige Querrippe, die die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite mit der Wölbungslinienrippe auf der Saugseite verbindet und dadurch den mittigen Strömungskanal unterteilt.

[0020] Die Rippenanordnung jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel kann so angeordnet sein, dass der Druckseiten-Strömungskanal, der Saugseiten-Strömungskanal und der mittige Strömungskanal radial zwischen einem ersten Ende, das nahe einer weiter innen liegenden Grenze des Profils angeordnet ist, und einem zweiten Ende, das nahe einer weiter aussen liegenden Grenze des Profils angeordnet ist, verlaufen; wobei der Druckseiten-Strömungskanal, der Saugseiten-Strömungskanal und/oder der mittige Strömungskanal an einen Zuleitungskanal angeschlossen sind bzw. ist, der so ausgelegt ist, dass er während des Betriebs einen Strom Kühlungsmittel durch einen Fuss der Laufschaufel erhält.

[0021] Die Rippenanordnung jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel kann vier Querrippen auf der Druckseite und vier Querrippen auf der Saugseite umfassen; wobei die Rippenanordnung zwei mittige Querrippen umfasst.

[0022] Zwei der vier Querrippen auf der Druckseite jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel können so ausgelegt sein, dass sie einen Verbindungswinkel mit der Aussenwand auf der Druckseite von weniger als ungefähr 60 Grad bilden; wobei zwei der vier Querrippen auf der Saugseite so ausgelegt sind, dass sie einen Verbindungswinkel mit der Aussenwand auf der Saugseite von weniger als ungefähr 60 Grad bilden; und wobei eine der zwei mittigen Querrippen einen Verbindungswinkel von weniger als ungefähr 60 Grad an der Wölbungslinienrippe auf der Saugseite wie auch der Wölbungslinienrippe auf der Druckseite bildet.

[0023] Drei der vier Querrippen auf der Druckseite jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel können so ausgelegt sein, dass sie einen Verbindungswinkel mit der Aussenwand auf der Druckseite von weniger als ungefähr 60 Grad bilden; wobei drei der vier Querrippen auf der Saugseite so ausgelegt sind, dass sie einen Verbindungswinkel mit der Aussenwand auf der Saugseite von weniger als ungefähr 60 Grad bilden; und wobei die beiden mittigen Querrippen einen Verbindungswinkel von weniger als ungefähr 60 Grad an der Wölbungslinienrippe auf der Saugseite wie auch der Wölbungslinienrippe auf der Druckseite bilden.

[0024] Eine der mittigen Querrippen jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel kann einen Bogen zwischen der Wölbungslinienrippe auf der Saugseite und der Wölbungslinienrippe auf der Druckseite umfassen.

[0025] Beide mittigen Querrippen jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel können einen Bogen zwischen der Wölbungslinienrippe auf der Saugseite und der Wölbungslinienrippe auf der Druckseite umfassen; wobei der Bogen von jeder der beiden mittigen Querrippen eine konkave Fläche umfasst, die in Richtung der Vorderkante gerichtet ist.

[0026] Beide mittigen Querrippen jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel können einen Bogen zwischen der Wölbungslinienrippe auf der Saugseite und der Wölbungslinienrippe auf der Druckseite umfassen; wobei der Bogen von jeder der beiden mittigen Querrippen eine konvexe Fläche umfasst, die in Richtung der Vorderkante gerichtet ist.

[0027] Eine der mittigen Querrippen jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel kann einen Profilquerschnitt mit einer «S»-Form umfassen; wobei die «S»-Form bezogen auf die Vorderkante des Profils zwei aufeinanderfolgende gekrümmte Flächen aufweisen kann, bei denen eine erste konkave Fläche in eine zweite konvexe Fläche übergeht.

[0028] Zwei der Querrippen auf der Druckseite jeder beliebigen zuvor erwähnten Turbinenschaufel können einen Bogen zwischen der Wölbungslinienrippe auf der Druckseite und der Aussenwand auf der Druckseite umfassen; wobei zwei der Querrippen auf der Saugseite einen Bogen zwischen der Wölbungslinienrippe auf der Saugseite und der Aussenwand auf der Saugseite umfassen können.

[0029] Die vorliegende Anmeldung beschreibt ferner eine Rippenanordnung, die eine Wölbungslinienrippe mit einem Wellenprofilquerschnitt aufweist, der mindestens zwei aufeinanderfolgende hin- und hergehende «S»-Formen aufweist. Die Wölbungslinienrippe mit dem Wellenprofilquerschnitt kann nahe der Vorderkante des Profils beginnen und sich über einen Bogenweg, der in Richtung der Hinterkante des Profils verläuft, hin- und herwinden. Der Bogenweg kann ungefähr parallel zu einer Wölbungsbezugslinie des Profils verlaufen. Die Rippenanordnung kann Querrippen aufweisen, die quer über das Profil verlaufen, damit sie die Wölbungslinienrippe mit der Aussenwand auf der Druckseite und/oder der Aussenwand auf der Saugseite verbinden. In bestimmten Ausführungsformen weisen die Querrippen einen Verbindungswinkel mit der Aussenwand auf der Druckseite und der Aussenwand auf der Saugseite von weniger als ungefähr 60 Grad auf.

[0030] Ein Aspekt der Erfindung ist dementsprechend eine Turbinenlaufschaufel, die ein Profil umfasst, das durch eine konkav geformte Aussenwand auf der Druckseite und eine konvex geformte Aussenwand auf der Saugseite definiert ist, die entlang einer Vorder- und Hinterkante verbunden sind und dazwischen eine radial verlaufende Kammer zum Aufnehmen des Stroms eines Kühlmittels bilden, wobei die Turbinenschaufel ferner umfasst: eine Rippenanordnung, die die Kammer in radial verlaufende Strömungskanäle unterteilt; wobei die Rippenanordnung eine Wölbungslinienrippe mit einem Wellenprofilquerschnitt aufweist, wobei der Wellenprofilquerschnitt mindestens zwei aufeinanderfolgende hin- und hergehende «S»-Formen umfasst; und wobei die Wölbungslinienrippe, die den Wellenprofilquerschnitt aufweist, nahe der Vorderkante des Profils beginnt und der Wellenprofilquerschnitt sich über einen Bogenweg, der in Richtung der Hinterkante des Profils verläuft, hin- und herwindet, wobei der Bogenweg ungefähr parallel zu einer Wölbungsbezugslinie des Profils verläuft.

[0031] Diese und weitere Merkmale der vorliegenden Anmeldung werden anhand der folgenden ausführlichen Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen in Verbindung mit den Zeichnungen und den beigefügten Ansprüchen ersichtlich.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0032] Diese und weitere Merkmale dieser Erfindung sind anhand der folgenden ausführlicheren Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung in Verbindung mit den zugehörigen Zeichnungen umfassender zu verstehen und nachzuholen, in denen:

Fig. 1 eine vereinfachte Darstellung einer beispielhaften Turbine ist, in der bestimmte Ausführungsformen der vorliegenden Anmeldung verwendet werden können;

- Fig. 2 eine Schnittdarstellung des Verdichterabschnitts der Verbrennungsturbine von Fig. 1 ist;
- Fig. 3 eine Schnittdarstellung des Turbinenabschnitts der Verbrennungsturbine von Fig. 1 ist;
- Fig. 4 eine perspektivische Darstellung einer Turbinenlaufschaufel von der Art ist, bei der Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verwendet werden können;
- Fig. 5 eine Querschnittsdarstellung einer Turbinenlaufschaufel mit einer Innenwandgestaltung oder Rippenanordnung gemäss der herkömmlichen Ausgestaltung ist;
- Fig. 6 eine Querschnittsdarstellung einer Turbinenlaufschaufel mit einer Innenwandgestaltung gemäss einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;
- Fig. 7 eine Querschnittsdarstellung einer Turbinenlaufschaufel mit einer Innenwandgestaltung oder Rippenanordnung gemäss einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;
- Fig. 8 eine Querschnittsdarstellung einer Turbinenlaufschaufel mit einer Innenwandgestaltung oder Rippenanordnung gemäss einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist; und
- Fig. 9 eine Querschnittsdarstellung einer Turbinenlaufschaufel mit einer Innenwandgestaltung oder Rippenanordnung gemäss einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0033] Zur deutlichen Beschreibung der vorliegenden Erfindung ist es bei der Bezugnahme auf und der Beschreibung von entsprechende(n) Maschinenbauteile(n) in einer Gasturbine einleitend notwendig, bestimmte Begriffe auszuwählen. Dabei werden, wenn möglich, übliche Begriffe der Branche verwendet und entsprechend ihrer anerkannten Bedeutung eingesetzt. Sofern nichts anderes angegeben ist, sollten derartige Begriffe im Einklang mit dem Kontext der vorliegenden Anmeldung und dem Umfang der beigefügten Ansprüche weit ausgelegt werden. Der Durchschnittsfachmann erkennt, dass häufig ein bestimmtes Bauteil unter Verwendung von mehreren verschiedenen oder sich überschneidenden Begriffen bezeichnet werden kann. Ein hier möglicherweise als Einzelteil beschriebenes Teil kann in einem anderen Zusammenhang mehrere Bauteile aufweisen und als aus mehreren Bauteilen bestehend bezeichnet sein. Alternativ kann ein hier möglicherweise als mehrere Bauteile aufweisend beschriebenes Teil anderswo als Einzelteil bezeichnet sein. Dementsprechend sollte beim Nachvollziehen des Umfangs der vorliegenden Erfindung nicht nur auf die hier bereitgestellte Terminologie und Beschreibung geachtet werden, sondern auch auf den Aufbau, die Ausbildung, Funktion und/oder Nutzung des Bauteils.

[0034] Zusätzlich können hier regelmässig mehrere beschreibende Begriffe verwendet werden und es sollte sich als hilfreich erweisen, wenn diese Begriffe zu Beginn dieses Abschnitts definiert werden. Diese Begriffe und ihre Definitionen lauten, sofern nichts anderes angegeben ist, folgender-massen. Die Begriffe «in Strömungsrichtung» und «gegen die Strömungsrichtung» sind hier Begriffe, die eine Richtung bezogen auf den Strom eines Fluids wie das Arbeitsfluid durch die Turbine oder beispielsweise der Luftstrom durch die Brennkammer oder von Kühlmittel durch eins der Bauteilsysteme der Turbine angeben. Der Begriff «in Strömungsrichtung» entspricht der Strömungsrichtung des Fluids und der Begriff «gegen die Strömungsrichtung» bezieht sich auf die der Strömung entgegengesetzte Richtung. Die Begriffe «vordere» und «hintere» ohne weitere genauere Angaben beziehen sich auf Richtungen, wobei sich «vordere» auf das vordere Ende oder Verdichterende der Kraftmaschine und «hintere» auf das hintere Ende oder Turbinenende der Kraftmaschine bezieht. Es müssen häufig Teile beschrieben werden, die sich bezogen auf eine Mittelachse an unterschiedlichen radialen Positionen befinden. Der Begriff «radial» betrifft eine Bewegung oder Position senkrecht zu einer Achse. In solchen Fällen ist, wenn ein erstes Bauteil näher an der Achse liegt als ein zweites Bauteil, hier angegeben, dass sich das erste Bauteil «radial innen liegend» zu dem zweiten Bauteil oder «weiter innen liegend» als das zweite Bauteil befindet. Wenn sich andererseits das erste Bauteil weiter weg von der Achse befindet als das zweite Bauteil, ist hier möglicherweise angegeben, dass sich das erste Bauteil «radial aussen liegend» zu dem zweiten Bauteil oder «weiter aussen liegend» als das zweite Bauteil befindet. Der Begriff «axial» betrifft eine Bewegung oder Position parallel zu einer Achse. Der Begriff «in Umfangsrichtung» schliesslich betrifft eine Bewegung oder Position um eine Achse herum. Es ist zu erkennen, dass diese Begriffe bezogen auf die Mittelachse der Turbine angewendet werden können.

[0035] Als Hintergrund veranschaulicht in den Figuren Fig. 1 bis 4 eine beispielhafte Verbrennungsturbine, bei der Ausführungsformen der vorliegenden Anmeldung verwendet werden können. Der Fachmann versteht, dass die vorliegende Erfindung nicht auf diese bestimmte Art der Verwendung beschränkt ist. Die vorliegende Erfindung kann bei Verbrennungsturbinen wie denen, die bei der Energieerzeugung eingesetzt werden, in Flugzeugen sowie anderen Kraftmaschinenarten verwendet werden. Die genannten Beispiele sollen nicht einschränkend sein, sofern nichts anderes angegeben ist.

[0036] Fig. 1 ist eine vereinfachte Darstellung einer Verbrennungsturbine 10. Im Allgemeinen funktionieren Verbrennungsturbinen so, dass sie einem unter Druck stehenden Heissgasstrom, der durch die Verbrennung eines Brennstoffs in einem Strom verdichteter Luft erzeugt wird, Energie entziehen. Wie in Fig. 1 dargestellt ist, kann die Verbrennungsturbine 10 mit einem Axialverdichter 11 ausgelegt sein, der mechanisch über eine gemeinsame Welle oder einen gemeinsamen Rotor

mit einem in Strömungsrichtung hinten befindlichen Turbinenabschnitt oder der Turbine 13 und einer Brennkammer 12, die zwischen dem Verdichter 11 und der Turbine 13 platziert ist, gekoppelt ist.

[0037] Fig. 2 veranschaulicht eine Darstellung eines beispielhaften mehrstufigen Axialverdichters 11, der in der Verbrennungsturbine von Fig. 1 verwendet werden kann. Wie dargestellt ist, kann der Verdichter 11 eine Mehrzahl von Stufen aufweisen. Jede Stufe kann eine Reihe von Verdichterlaufschaufeln 14 aufweisen, gefolgt von einer Reihe von Verdichterleitschaufeln 15. Eine erste Stufe kann also eine Reihe von Verdichterlaufschaufeln 14 aufweisen, die sich um eine mittige Welle drehen, gefolgt von einer Reihe von Verdichterleitschaufeln 15, die während des Betriebs feststehend bleiben.

[0038] Fig. 3 veranschaulicht eine Teildarstellung eines beispielhaften Turbinenabschnitts oder einer beispielhaften Turbine 13, der bzw. die in der Verbrennungsturbine von Fig. 1 verwendet werden kann. Die Turbine 13 kann eine Mehrzahl von Stufen aufweisen. Es sind drei beispielhafte Stufen dargestellt, jedoch können in der Turbine 13 mehr oder weniger Stufen vorhanden sein. Eine erste Stufe weist eine Mehrzahl von Turbinenschaufeln oder Turbinenlaufschaufeln 16 auf, die sich während des Betriebs um die Welle drehen, und eine Mehrzahl von Leitschaufeln oder Turbinenleitschaufeln 17, die während des Betriebs feststehend bleiben. Die Turbinenleitschaufeln 17 weisen ganz allgemein in Umfangsrichtung einen Abstand zueinander auf und sind um die Drehachse herum fixiert. Die Turbinenlaufschaufeln 16 können an einem (nicht dargestellten) Turbinenrad montiert sein, damit sie sich um die (nicht dargestellte) Welle drehen. Es ist auch eine zweite Stufe der Turbine 13 dargestellt. Die zweite Stufe weist ebenso eine Mehrzahl von in Umfangsrichtung beabstandeten Turbinenleitschaufeln 17 auf, auf die eine Mehrzahl von in Umfangsrichtung beabstandeten Turbinenlaufschaufeln 16 folgt, die ebenfalls an einem Turbinenrad montiert sind, damit sie sich drehen. Eine dritte Stufe ist ebenfalls dargestellt und weist ebenso eine Mehrzahl von Turbinenleitschaufeln 17 und Laufschaufeln 16 auf. Es ist zu erkennen, dass die Turbinenleitschaufeln 17 und die Turbinenlaufschaufeln 16 im Heissgasweg der Turbine 13 liegen. Die Strömungsrichtung der Heissgase durch den Heissgasweg ist mit dem Pfeil angegeben. Wie ein Durchschnittsfachmann erkennt, kann die Turbine 13 mehr, oder in einigen Fällen weniger, Stufen aufweisen, als die in Fig. 3 dargestellten. Jede zusätzliche Stufe kann eine Reihe von Turbinenleitschaufeln 17 aufweisen, gefolgt von einer Reihe von Turbinenlaufschaufeln 16.

[0039] In einem Betriebsbeispiel kann durch die Drehung der Verdichterlaufschaufeln 14 in dem Axialverdichter 11 ein Luftstrom verdichtet werden. In der Brennkammer 12 kann Energie freigesetzt werden, wenn die verdichtete Luft mit einem Brennstoff gemischt und gezündet wird. Der entstehende Heissgasstrom von 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. Die Energie des Arbeitsfluidstroms wird dadurch in die mechanische Energie der sich drehenden Schaufeln und, wegen der Verbindung zwischen den Laufschaufeln und der Welle, der sich drehenden Welle umgewandelt. Die mechanische Energie der Welle kann dann dazu verwendet werden, die Drehung der Verdichterlaufschaufeln 14 zu veranlassen, sodass die notwendige Zufuhr Druckluft erzeugt wird, und beispielsweise auch zum Antrieben eines Generators zum Erzeugen von Strom.

[0040] Fig. 4 ist eine perspektivische Darstellung einer Turbinenlaufschaufel 16 von der Art, bei der Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verwendet werden können. Die Turbinenlaufschaufel 16 weist einen Fuss 21 auf, mit dem die Laufschaufel 16 an einer Laufradscheibe befestigt wird. Der Fuss 21 kann einen Schwabenschwanz aufweisen, der so ausgelegt ist, dass er in einem entsprechenden Schwabenschwanzschlitz im Umfang der Laufradscheibe montiert wird. Der Fuss 21 kann ferner einen Schaft aufweisen, der zwischen dem Schwabenschwanz und einer Plattform 24 verläuft, die an der Verbindungsstelle des Profils 25 und des Fusses 21 angeordnet ist und einen Abschnitt der weiter innen liegenden Grenze des Strömungswegs durch die Turbine 13 definiert. Es ist zu erkennen, dass das Profil 25 das wirksame Bauteil der Laufschaufel 16 ist, das den Arbeitsfluidstrom aufnimmt und die Laufradscheibe dazu veranlasst, sich zu drehen. Bei der Schaufel dieses Beispiels handelt es sich zwar um eine Turbinenlaufschaufel 16, jedoch ist zu erkennen, dass die vorliegende Erfindung auch auf andere Arten von Schaufeln in der Turbine 10 angewendet werden kann, einschliesslich Turbinenleitschaufeln 17. Es ist zu erkennen, dass das Profil 25 der Laufschaufel 16 eine konkave Aussenwand 26 auf der Druckseite und eine in Umfangsrichtung oder seitlich gegenüberliegende konvexe Aussenwand 27 auf der Saugseite aufweist, die jeweils axial zwischen der sich gegenüberliegenden Vorder- und Hinterkante 28, 29 verlaufen. Die Seitenwände 26 und 27 verlaufen ebenfalls in der radialen Richtung von der Plattform 24 aus zu einer weiter aussen liegenden Spitze 31. (Es ist zu erkennen, dass die Anwendung der vorliegenden Erfindung möglicherweise nicht auf Turbinenlaufschaufeln beschränkt ist, sondern auch auf Leitschaufeln anwendbar sein kann. Die Verwendung von Laufschaufeln in den verschiedenen hier beschriebenen Ausführungsformen ist beispielhaft, sofern nichts anderes angegeben ist.)

[0041] Fig. 5 zeigt einen Innenwandaufbau, wie er in einem Laufschaufelprofil 25 mit einer herkömmlichen Ausgestaltung zu finden sein kann. Wie angegeben ist, kann die Aussenfläche des Profils 25 durch eine relativ dünne Aussenwand 26 auf der Druckseite und Aussenwand 27 auf der Saugseite definiert sein, die über eine Mehrzahl von radial verlaufenden und sich schneidenden Rippen 60 verbunden sein können. Die Rippen 60 sind so ausgelegt, dass sie das Profil 25 strukturell verstärken, während sie gleichzeitig auch eine Mehrzahl von radial verlaufenden und im Wesentlichen getrennten Strömungskanälen 40 definieren. Die Rippen 60 verlaufen üblicherweise radial, damit sie die Strömungskanäle 40 über einen Grossteil der radialen Höhe des Profils 25 unterteilen, jedoch kann der Strömungskanal, wie nachstehend ausführlicher erläutert ist, entlang dem Umfang des Profils verbunden sein und so einen Kühlkanal definieren. Die Strömungskanäle 40 können also am weiter aussen liegenden oder weiter innen liegenden Rand des Profils 25 fluidmässig in Verbindung stehen sowie über mehrere kleinere Querverbindungskanäle oder Prallkühlungsöffnungen (nicht dargestellt), die dazwischen

platziert sein können. Auf diese Weise können bestimmte von den Strömungskanälen 40 gemeinsam einen gewundenen oder sich schlängelnden Kühlkanal bilden. Zusätzlich können (nicht dargestellte) Filmkühlungsöffnungen enthalten sein, die Austrittsöffnungen darstellen, durch die Kühlmittel aus den Strömungskanälen 40 auf die Außenfläche des Profils 25 austritt.

[0042] Die Rippen 60 können zwei verschiedene Ausführungen umfassen, die dann, wie hier angegeben ist, weiter unterteilt werden können. Eine erste Ausführung, eine Wölbungslinienrippe 62, ist üblicherweise eine sehr lange Rippe, die parallel oder ungefähr parallel zur Wölbungslinie des Profils verläuft, bei der es sich um eine Bezugslinie handelt, die sich von der Vorderkante 28 zur Hinterkante 29 erstreckt und die Mittelpunkte zwischen der Außenwand 26 auf der Druckseite und der Außenwand 27 auf der Saugseite verbindet. Wie häufig zutreffend ist, weist die herkömmliche Ausbildung von Fig. 5 zwei Wölbungslinienrippen 62 auf, eine Wölbungslinienrippe 63 auf der Druckseite, die in Anbetracht dessen, wie sie zu der Außenwand 26 auf der Druckseite versetzt ist und in deren Nähe liegt, auch als Innenwand auf der Druckseite bezeichnet werden kann, sowie eine Wölbungslinienrippe 64 auf der Saugseite, die in Anbetracht dessen, wie sie zu der Außenwand 27 auf der Saugseite versetzt ist und in deren Nähe liegt, auch als Innenwand auf der Saugseite bezeichnet werden kann. Wie erwähnt ist, wird diese Art von Ausgestaltung aufgrund der weitverbreiteten vier Hauptwände, die die beiden Seitenwände 26, 27 und die beiden Wölbungslinienrippen 63, 64 enthalten, häufig so bezeichnet, dass sie eine Anordnung mit vier Wänden aufweist. Es ist zu erkennen, dass die Außenwände 26, 27 und die Wölbungslinienrippen 62 als einteilige Bauteile gegossen sind.

[0043] Die zweite Rippenausführung wird hier als Querrippe 66 bezeichnet. Die Querrippen 66 sind die kürzeren dargestellten Rippen, die die Wände und Innenrippen der Anordnung mit vier Wänden verbinden. Wie angegeben ist, können die vier Wände über mehrere Querrippen 66 verbunden sein, die ferner danach, welche der Wände sie jeweils verbinden, weiter eingeteilt werden können. Die Querrippen 66, die die Außenwand 26 auf der Druckseite mit der Wölbungslinienrippe 63 auf der Druckseite verbinden, werden hier als Querrippen 67 auf der Druckseite bezeichnet. Die Querrippen 66, die die Außenwand 27 auf der Saugseite mit der Wölbungslinienrippe 64 auf der Saugseite verbinden, werden als Querrippen 68 auf der Saugseite bezeichnet. Die Querrippen 66 schliesslich, die die Wölbungslinienrippe 63 auf der Druckseite mit der Wölbungslinienrippe 64 auf der Saugseite verbinden, werden als mittige Querrippen 69 bezeichnet.

[0044] Im Allgemeinen bezweckt die Innengestaltung mit vier Wänden in einem Profil 25 eine wirksame Kühlung nahe der Wände, bei der die Kühlluft in Kanälen angrenzend an den Außenwänden 26, 27 des Profils 25 strömt. Es ist zu erkennen, dass eine Kühlung nahe der Wände von Vorteil ist, da sich die Kühlluft sehr nah an den heißen Außenflächen des Profils befindet, und die sich ergebenden Wärmeübergangszahlen sind bedingt durch die hohe Strömungsgeschwindigkeit hoch, die durch eine Begrenzung des Durchflusses durch enge Kanäle hindurch erreicht wird. Derartige Ausgestaltungen neigen jedoch dazu, aufgrund einer unterschiedlich starken Wärmeausdehnung innerhalb des Profils 25 eine Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl aufzuweisen, wodurch sich schliesslich die Lebensdauer der Laufschaufel verkürzen kann. Die Außenwände 27 auf der Saugseite dehnen sich während des Betriebs unter Wärmeeinfluss beispielsweise stärker aus als die Wölbungslinienrippe 64 auf der Saugseite. Durch diese unterschiedliche Ausdehnung neigt die Länge der Wölbungslinie des Profils 25 zur Verlängerung und dadurch werden Spannungen zwischen jeder dieser Strukturen sowie den sie verbindenden Strukturen hervorgerufen. Die Außenwand 26 auf der Druckseite dehnt sich zudem unter Wärmeeinfluss stärker aus als die kühlere Wölbungslinienrippe 63 auf der Druckseite. In diesem Fall neigt die Länge der Wölbungslinie des Profils 25 durch den Unterschied zur Verkürzung und dadurch werden Spannungen zwischen jeder dieser Strukturen sowie den sie verbindenden Strukturen hervorgerufen. Die gegensätzlichen Kräfte in dem Profil, die in dem einen Fall die Profilwölbungslinie eher kürzer werden lassen und sie in dem anderen Fall eher länger werden lassen, können zu weiteren Spannungskonzentrationen führen. Wie unterschiedlich diese Kräfte sich unter Berücksichtigung der besonderen strukturellen Ausbildung eines Profils äussern und die Art und Weise, wie die Kräfte dann ausgeglichen und kompensiert werden, bestimmen in erheblichem Masse die Teillebensdauer der Laufschaufel 16.

[0045] In einem üblichen Szenario neigt die Außenwand 27 auf der Saugseite dazu, sich an der Spitze ihrer Krümmung nach aussen zu biegen, da sie sich durch den Einfluss der hohen Temperaturen des Heissgaswegs unter Wärmeeinfluss ausdehnt. Es ist zu erkennen, dass die Wärmeausdehnung bei der Wölbungslinienrippe 64 auf der Saugseite, da es sich um eine Innenwand handelt, nicht genauso stark ist und sie deshalb nicht genauso stark dazu neigt, sich aussen zu biegen. Die Wölbungslinienrippe 64 widersetzt sich dann der Wärmeausdehnung der Außenwand 27. Da bei herkömmlichen Ausgestaltungen Wölbungslinienrippen 62 mit einer steifen Geometrie versehen sind, die wenig oder keine Nachgiebigkeit bietet, können diese Unnachgiebigkeit und die sich daraus ergebenden Spannungskonzentrationen beachtlich sein. Verschärft wird das Problem dadurch, dass die zum Verbinden der Wölbungslinienrippe 62 mit der Außenwand 27 verwendeten Querrippen 66 mit linearen Profilen versehen sind und ganz allgemein unter einem rechten Winkel bezogen auf die Wände ausgerichtet sind, die sie verbinden. Die Querrippen 66 funktionieren deshalb so, dass sie im Grunde die «kalte» räumliche Beziehung zwischen der Außenwand 27 und der Wölbungslinienrippe 64 erhalten, wenn sich die erwärmten Strukturen mit erheblich voneinander abweichenden Raten ausdehnen. Herkömmliche Anordnungen mit geringer oder ohne in die Konstruktion integrierte «Nachgiebigkeit» eignen sich folglich kaum für die Herabsetzung von Spannungen, die sich in bestimmten Bereichen der Konstruktion konzentrieren. Die unterschiedliche Wärmeausdehnung führt zu Problemen mit einer Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl, wodurch sich die Bauteillebensdauer verkürzt.

[0046] In der Vergangenheit sind viele verschiedene Innenkühlungssysteme und strukturelle Ausbildungen für Profile beurteilt worden und es ist versucht worden, dieses Problem zu beheben. Bei einer derartigen Vorgehensweise wird eine Un-

terkühlung der Außenwände 26, 27 vorgeschlagen, damit das Temperaturgefalle und dadurch das Wärmeausdehnungsgefalle reduziert werden. Es ist jedoch zu erkennen, dass dies üblicherweise durch Erhöhen der durch das Profil geleiteten Kühlmittelmenge erreicht wird. Da es sich bei Kühlmittel üblicherweise um Luft handelt, die vom Verdichter entnommen wird, hat dessen verstärkter Einsatz eine negative Auswirkung auf den Wirkungsgrad der Kraftmaschine und es handelt sich somit um eine Lösung, die vorzugsweise vermieden wird. Bei anderen Lösungen ist der Einsatz verbesserter Herstellungsverfahren und/oder von aufwendigeren Innenkühlungsanordnungen vorgeschlagen worden, bei denen dieselbe Menge Kühlmittel, jedoch effizienter verwendet wird. Diese Lösungen haben sich zwar als in gewissem Massen wirksam erwiesen, verteuern jedoch entweder den Betrieb der Kraftmaschine oder die Herstellung des Teils und gehen in keiner Weise das ursächliche Problem direkt an, nämlich die geometrischen Unzulänglichkeiten der herkömmlichen Ausgestaltung angesichts der Art und Weise, wie sich Profile während des Betriebs unter Wärmeeinfluss ausdehnen.

[0047] Die Lehre der vorliegenden Erfindung bezieht sich ganz allgemein auf bestimmte kurven- oder blasen- oder sinusförmige oder gewellte Innenrippen (nachfolgend «Wellenrippen»), die unausgeglichene Wärmebeanspruchungen ab schwächen, die häufig im Profil von Turbinenschaufeln vorkommen. Im Rahmen dieser allgemeinen Vorstellung beschreibt die vorliegende Anmeldung mehrere Möglichkeiten, wie dies erreicht werden kann, wozu Wölbungslinien-Wellenrippen 62 und/oder Querrippen 66 sowie bestimmte Arten von abgewinkelten Verbindungen dazwischen gehören. Es ist zu erkennen, dass diese neuartigen Anordnungen – die, wie in den beigefügten Ansprüchen beschrieben ist, separat oder kombiniert eingesetzt werden können – die Steifigkeit des Innenaufbaus des Profils 25 herabsetzen, damit eine gezielte Flexibilität bereitgestellt wird, mit der Spannungskonzentrationen verteilt und Beanspruchungen an andere Konstruktionsbereiche abgegeben werden, die besser dazu in der Lage sind, ihnen standzuhalten. Dazu kann beispielsweise gehören, dass die Abgabe an einen Bereich erfolgt, der die Beanspruchungen über eine grösere Fläche verteilt, oder vielleicht eine Struktur, die eine Druckbeanspruchung, die üblicherweise stärker bevorzugt wird, statt einer Zugbeanspruchung abgibt. Auf diese Weise können die Lebensdauer verkürzende Spannungskonzentrationen und Beanspruchungen vermieden werden.

[0048] Fig. 6 bis 8 stellen Querschnittsdarstellungen einer Turbinenlaufschaufel 16 mit einer Innenwandgestaltung gemäss Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung dar. Die vorliegende Erfindung beinhaltet insbesondere die Gestaltung von Rippen 60, die üblicherweise sowohl zur Strukturverstärkung als auch als Unterteilungen verwendet werden, die Hohlprofile 25 in im Wesentlichen getrennte radial verlaufende Strömungskanäle 40 unterteilen, bei denen es sich wie gewünscht um Verbindungen zur Erzeugung von Kühlkanälen handeln kann. Diese Strömungskanäle 40 und die Kreisläufe, die sie bilden, werden verwendet, um einen Strom Kühlmittel auf eine bestimmte Art und Weise durch das Profil 25 zu leiten, damit es gezielt und effizienter verwendet wird. Obwohl die hier dargelegten Beispiele so dargestellt sind, wie sie in Turbinenlaufschaufeln 16 verwendet werden könnten, ist zu erkennen, dass dieselben Konzepte auch bei Turbinenleitschaufeln 17 eingesetzt werden können. In einer Ausführungsform weist die Rippenanordnung der vorliegenden Erfindung eine Wölbungslinienrippe 62 mit einem Wellenprofilquerschnitt auf. (Der Begriff «Profilquerschnitt» soll hier die Form bezeichnen, die die Rippen in den Querschnittsdarstellungen von Fig. 6 bis 8 aufweisen.) Eine wie zuvor beschriebene Wölbungslinienrippe 62 ist eine der längeren Rippen, die üblicherweise von einer Position nahe der Vorderkante 28 des Profils 25 in Richtung der Hinterkante 29 verlaufen. Diese Rippen werden als «Wölbungslinienrippen» bezeichnet, da der Weg, den sie nehmen, ungefähr parallel zu der Wölbungslinie des Profils 25 verläuft, bei der es sich um eine Bezugslinie handelt, die sich zwischen der Vorderkante 28 und der Hinterkante 29 des Profils 25 durch eine Ansammlung von Punkten erstreckt, die zwischen der konkaven Außenwand 26 auf der Druckseite und der konvexen Außenwand 27 auf der Saugseite den gleichen Abstand aufweisen. Gemäss der vorliegenden Anmeldung umfasst ein «Wellenprofilquerschnitt» einen, der wie angegeben eine merklich gekrümmte und sinusförmige Form aufweist. Mit anderen Worten handelt es sich bei dem «Wellenprofilquerschnitt» um einen, der einen hin- und hergehenden «S»-Profilquerschnitt aufweist. Beispiele für diese besondere Art Wellenprofilquerschnitt sind zuvor in Fig. 6 und 7 dargelegt.

[0049] Das Segment oder Stück der Wölbungslinienrippe 62, das mit dem Wellenprofilquerschnitt ausgelegt ist, kann je nach Auslegungskriterien unterschiedlich sein. In den dargelegten Beispielen erstreckt sich die Wölbungslinien-Wellenrippe 62 üblicherweise von einer Position nahe der Vorderkante 28 des Profils 25 zu einer Position jenseits des Mittelpunkts der Wölbungslinie des Profils 25. Es ist zu erkennen, dass der Wellenabschnitt der Wölbungslinienrippe 62 kürzer sein kann, während weiterhin dieselben hier erörterten Arten von Leistungsvorteilen gegeben sind. Die Anzahl von Kurven sowie die Länge des Wellensegments der Wölbungslinienrippe 62 können zum Erreichen der besten Ergebnisse verändert werden. In bestimmten Ausführungsformen ist die Wölbungslinien-Wellenrippe 62 der vorliegenden Erfindung durch die Anzahl der vollständigen darin enthaltenen hin- und hergehenden «S»-Formen definiert. In einer bevorzugten Ausführungsform dieser Art weist die Wölbungslinien-Wellenrippe 62 mindestens eine ununterbrochene hin- und hergehende «S»-Form auf. In einer weiteren Ausführungsform weist die Wölbungslinien-Wellenrippe 62 mindestens zwei aufeinanderfolgende und ununterbrochene hin- und hergehende «S»-Formen auf. Es ist zu erkennen, dass die in Fig. 6 und 7 dargelegten Beispiele jeweils einen Weg mit mehr als zwei vollständigen «S»-Formen nehmen. Hinsichtlich der Gesamtlänge kann sich das Wellensegment der Wölbungslinienrippe 62 über einen wesentlichen Abschnitt der Länge der Wölbungslinie des Profils 25 erstrecken. Wie in Fig. 6 und 7 dargestellt ist, beträgt der Wellenabschnitt der Wölbungslinienrippe 62 in einer bevorzugten Ausführungsform beispielsweise über 50% der Länge der Wölbungslinie des Profils 25. Mit anderen Worten beginnt der Wellenabschnitt der Wölbungslinienrippe 62 nahe der Vorderkante 28 des Profils 25 und verläuft nach hinten und weit über die Spitze der Krümmung des Profils 25 hinaus. Es ist zu erkennen, dass auch kürzere Längen mit Leistungsvorteilen eingesetzt werden können, beispielsweise Wellenabschnitte von mindestens 15% der Wölbungslinienrippe 62.

[0050] Es ist zu erkennen, dass eine Wölbungslinien-Wellenrippe 62 aufgrund ihres gewundenen Profils einen Weg nimmt, dessen Zielrichtung wechselt. Die Wölbungslinien-Wellenrippe 62 der vorliegenden Erfindung kann dennoch so beschrieben werden, dass sie einen allgemeinen Bogenweg aufweist, über den sie sich windet, und dass dieser Weg üblicherweise von einem Anfangspunkt nahe der Vorderkante 28 und einem Endpunkt nahe der Hinterkante 29 des Profils 25 aus verläuft. Es ist zu erkennen, dass bei einer Wölbungslinien-Wellenrippe 62 dieser allgemeine Bogenweg ungefähr parallel zur Wölbungslinie des Profils 25 verläuft.

[0051] Viele bekannte Gestaltungen von Profilen 25, beispielsweise das zuvor erörterte Vierwandbeispiel von Fig. 5, weisen zwei Wölbungslinienrippen 62 auf. Diese Gestaltungsart kann so beschrieben werden, dass eine Wölbungslinienrippe 63 auf der Druckseite vorhanden ist, die sich näher an der Aussenwand 26 auf der Druckseite befindet, und eine Wölbungslinienrippe 64 auf der Saugseite, die sich näher an der Aussenwand 27 auf der Saugseite befindet. Die vorliegende Erfindung, wie sie in Fig. 6 und 7 dargestellt ist, kann Gestaltungen aufweisen, bei denen sowohl die Wölbungslinienrippe 64 auf der Saugseite als auch die Wölbungslinienrippe 63 auf der Druckseite als Wellenrippen ausgebildet sind. In alternativen Ausführungsformen weist möglicherweise nur eine dieser Wölbungslinienrippen 62 einen Wellenprofilquerschnitt auf. Es ist zu erkennen, dass die vorliegende Erfindung auch in Gestaltungen mit lediglich einer einzigen Wölbungslinienrippe 62 verwendet werden kann.

[0052] In Profilen 25, die zwei Wölbungslinienrippen 62 enthalten, ist zu erkennen, dass die Wölbungslinienrippe 63 auf der Druckseite und die Wölbungslinienrippe 64 auf der Saugseite einen mittigen Strömungskanal 40 festlegen. Der Wellenprofilquerschnitt für die Wölbungslinienrippe 63 auf der Druckseite wie auch die Wölbungslinienrippe 64 auf der Saugseite kann bezogen auf die Form definiert werden, die aufeinanderfolgende Segmente der Wölbungslinienrippe 62 gegenüber dem mittigen Strömungskanal 40 annehmen. Das heisst, dass der Wellenprofilquerschnitt der Wölbungslinienrippe 62 bezogen auf den mittigen Strömungskanal 40 beispielsweise so beschrieben werden kann, dass er zwei aufeinanderfolgende Segmente aufweist, bei denen ein erstes konkaves Segment in ein zweites konvexes Segment übergeht. In einer alternativen Ausführungsform kann der Wellenprofilquerschnitt vier oder mehr aufeinanderfolgende Segmente aufweisen, bei 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 vierstes konvexes Segment übergeht.

[0053] Wie in Fig. 8 dargestellt ist, weist eine alternative Ausführungsform eine Wiederholung von konvexen Segmenten auf. Bei dieser Art von Wellenrippenausführungsform ist zu erkennen, dass der Wellenprofilquerschnitt für die Wölbungslinienrippen 62 (bezogen auf den mittigen Strömungskanal) hintereinander gesetzte konvexe Segmente aufweist. In einer bevorzugten Ausführungsform dieser Art weisen die Wölbungslinienrippen 62 laut Darstellung jeweils mindestens vier dieser hintereinander gesetzten konvexen Segmente auf. (Es ist zu erkennen, dass bei dieser Art von Ausführungsform zum Vermeiden von Spannungskonzentrationen ein kurzes konkaves Segment zum Verbinden der viel längeren konvexen Segmente verwendet werden kann.)

[0054] Die Lehre der vorliegenden Erfindung beinhaltet bestimmte Gestaltungen der Querrippen 66, die zum Einstellen der Nachgiebigkeit des Profils 25 eingesetzt werden können. Querrippen 66 sind hier die kürzeren Rippen, die quer über das Profil 25 verlaufen. Querrippen 66 werden zum Verbinden der Wölbungslinienrippen 62 entweder mit anderen Wölbungslinienrippen oder mit einer der Aussenwände 26, 27 des Profils 25 verwendet. Es ist zu erkennen, dass bei einer derartigen Gestaltung die Querrippen 66 auch als Unterteilungen der Strömungskanäle 40 dienen, die zwischen den Aussenwänden 26, 27 und den Wölbungslinienrippen 62 ausgebildet sind. Wie dargestellt ist, sind die Aussenwand 26 auf der Druckseite und die Wölbungslinienrippe 63 auf der Druckseite so ausgelegt, dass sie einen Druckseiten-Strömungskanal 40 dazwischen definieren. Ebenso sind die Aussenwand 27 auf der Saugseite und die Wölbungslinienrippe 64 auf der Saugseite so ausgelegt, dass sie einen Saugseiten-Strömungskanal 40 dazwischen definieren. Zwischen der Wölbungslinienrippe 64 auf der Saugseite und der Wölbungslinienrippe 63 auf der Druckseite ist der mittige Strömungskanal 40 definiert. Wie angegeben ist, können diese Strömungskanäle 40 dann durch die Querrippen 66 weiter unterteilt werden. In bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verbinden mehrere Querrippen 67 auf der Druckseite die Aussenwand 26 auf der Druckseite mit der Wölbungslinienrippe 63 auf der Druckseite. Die Querrippen 67 auf der Druckseite unterteilen also den Druckseiten-Strömungskanal 40 in mehrere getrennte, axial nebeneinander gesetzte Strömungskanäle 40. Ebenso verbinden mehrere Querrippen 68 auf der Saugseite die Aussenwand 27 auf der Saugseite mit der Wölbungslinienrippe 64 auf der Saugseite und unterteilen den Saugseiten-Strömungskanal 40 in mehrere getrennte, axial nebeneinander gesetzte Strömungskanäle 40. Mittige Querrippen 69 verbinden die Wölbungslinienrippe 63 auf der Druckseite mit der Wölbungslinienrippe 64 auf der Saugseite und unterteilen ebenso den mittigen Strömungskanal.

[0055] Die Wölbungslinienrippen 62 und Querrippen 66 können als radial verlaufende Wände ausgelegt sein. Diese Rippen können also die in den Querschnittsdarstellungen von Fig. 6 bis 8 dargestellten Profile bilden und gleichzeitig radial zwischen den beiden Enden des Profils 25 verlaufen. Auf diese Weise können die Druckseiten-Strömungskanäle, Saugseiten-Strömungskanäle und mittigen Strömungskanäle 40 radial zwischen einem weiter innen liegenden Ende, das sich in der Nähe der Berührungsfläche zwischen dem Profil 25 und dem Schaufelfuss 21 befindet, und einem weiter aussen liegenden Ende verlaufen, das sich in der Nähe der weiter aussen liegenden Spitze 31 des Profils 25 befindet. Während des Einsatzes kann eine Kühlmittelmenge einem oder mehreren der weiter innen liegenden Enden der Strömungskanäle 40 über einen Zuleitungskanal zugeführt werden, der durch eine Schaufelwurzel 21 verläuft. Es ist zu erkennen, dass die Strömungskanäle 40 gezielt an ihrem weiter innen liegenden oder weiter aussen liegenden Ende verbunden werden können, damit ein gewundener Kühlmittelweg durch das Profil 25 entsteht.

[0056] Die Rippenanordnung der vorliegenden Erfindung kann mehrere Querrippen 66 auf der Druck- wie auch Saugseite des Profils 25 aufweisen. In bevorzugten Ausführungsformen können mindestens fünf Querrippen 67 auf der Druckseite und fünf Querrippen 68 auf der Saugseite enthalten sein. Es können auch mehrere mittige Querrippen 69 vorgesehen sein. Wie dargestellt ist, kann die vorliegende Erfindung in bevorzugten Ausführungsformen mindestens zwei mittige Querrippen 69 aufweisen. Die vorliegende Erfindung beschreibt ferner eine Verbindungsanordnung, mit der die Querrippen 66 mit den Außenwänden 26, 27 und/oder den Wölbungslinienrippen 62 verbunden sind. Es ist zu erkennen, dass der Winkel, unter dem die Querrippen 66 diese Wände 26, 27, 62 schneiden, als «Verbindungswinkel» beschrieben werden kann. (Es ist zu erkennen, dass der erwähnte «Verbindungswinkel» der kleinere der beiden Winkel ist, die auf beiden Seiten von jedem Ende einer Querrippe zwischen der Querrippe und der Wand ausgebildet sind, die sie schneidet.) Bei herkömmlichen Profilgestaltungen ist, wie zuvor erwähnt, der Verbindungswinkel ein steiler Winkel, ganz allgemein nahe 90°. Es ist zu erkennen, dass derartige steile Winkel für eine steife Konstruktion sorgen. Die Lehre der vorliegenden Erfindung beinhaltet Winkel von weniger als 90° als Möglichkeit dafür, wie der Aufbau eines Profils 25 oder gezielte Bereiche der Konstruktion nachgiebiger gefertigt werden können. Gemäß einer Ausführungsform können, wie in Fig. 6 und 7 dargestellt ist, mindestens zwei der Querrippen 67 auf der Druckseite so ausgelegt sein, dass sie einen Verbindungswinkel mit der Außenwand 26 auf der Druckseite von weniger als ungefähr 60 Grad bilden. Gemäß einer weiteren Ausführungsform können, wie angegeben ist, mindestens zwei von den Querrippen 68 auf der Saugseite so ausgelegt sein, dass sie einen Verbindungswinkel mit der Außenwand 27 auf der Saugseite von weniger als ungefähr 60 Grad bilden. Die mittigen Querrippen 69 können ähnlich geformt sein und in Gestaltungen der vorliegenden Erfindung ist mindestens ein Verbindungswinkel von weniger als ungefähr 60 Grad an der Wölbungslinienrippe 64 auf der Saugseite wie auch der Wölbungslinienrippe 63 auf der Druckseite vorgesehen. Wenn eine bessere Nachgiebigkeit erforderlich ist, können in Ausführungsformen drei der Querrippen 67 auf der Druckseite und drei der Querrippen 68 auf der Saugseite vorgesehen sein, die so ausgelegt sind, dass sie einen Verbindungswinkel mit den Außenwänden 26, 27 von weniger als ungefähr 60 Grad aufweisen, und mindestens zwei der mittigen Querrippen 69 können so ausgelegt sein, dass sie einen Verbindungswinkel von weniger als ungefähr 60 Grad an der Wölbungslinienrippe 64 auf der Saugseite wie auch der Wölbungslinienrippe 63 auf der Druckseite bilden.

[0057] Die vorliegende Erfindung beschreibt ferner eine weitere Möglichkeit, wie Querrippen 66 die strukturelle Nachgiebigkeit verbessern können. Die Querrippen 66 sind üblicherweise mit einem linearen Profilquerschnitt ausgebildet, das erkennbar zu einer steifen und unnachgiebigen Gestaltung führt. Gemäß bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind die Querrippen 66 so ausgelegt, dass sie einen gekrümmten Profilquerschnitt aufweisen. Insbesondere können die mittigen Querrippen 69, wie in jedem der Beispiele in Fig. 6 bis 8 dargestellt ist, einen gekrümmten, bogenförmigen oder gebogenen Profilquerschnitt aufweisen. Mit diesem Profilquerschnitt werden die Querrippen 66 viel nachgiebiger und sind in der Lage, eine Relativbewegung zwischen den Bauteilwänden, die sie verbinden, auszugleichen. Die Richtung, in der der gekrümmte gebogene Profilquerschnitt der Querrippe ausgerichtet ist, kann beeinflusst werden, damit die unterschiedlichen erwarteten Spannungen aufgenommen werden. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform, wie sie in Fig. 6 dargestellt ist, kann der Bogen der mittigen Querrippe 69 so geführt werden, dass die konkave Fläche der mittigen Querrippen 69 in Richtung der Vorderkante 28 des Profils 25 geführt ist. Diese Ausrichtung kann an allen der mittigen Querrippen 69 vorgenommen werden, die in einer bestimmten Struktur enthalten sind, oder einem Bruchteil davon. In einer alternativen Ausführungsform, wie sie in Fig. 7 dargestellt ist, kann der Bogen der mittigen Querrippen 69 so geführt werden, dass die konvexe Fläche der Querrippe von der Vorderkante 28 des Profils 25 weg geführt ist. Diese Art Profilquerschnitt kann bei allen mittigen Querrippen 69 oder lediglich einem Bruchteil davon verwendet werden.

[0058] Wie in Fig. 9 dargestellt ist, weist eine alternative Ausführungsform eine Wölbungslinienrippe 62 auf, die eine Wiederholung von konkaven Segmenten aufweist. Bei dieser Art von Wellenrippenausführungsform ist zu erkennen, dass der Wellenprofilquerschnitt für die Wölbungslinienrippen 62 (bezogen auf den mittigen Strömungskanal 40) hintereinander gesetzte konvexe Segmente aufweist. In einer bevorzugten Ausführungsform dieser Art weisen die Wölbungslinienrippen 62 laut Darstellung jeweils mindestens vier dieser hintereinander gesetzten konkaven Segmente auf. (Es ist zu erkennen, dass bei dieser Art von Ausführungsform zum Vermeiden von Spannungskonzentrationen ein kurzes konvexes Segment zum Verbinden der viel längeren konvexen Segmente verwendet werden kann.)

[0059] Fig. 9 weist auch alternative Ausführungsformen der Querrippen 66 auf. Wie bereits erwähnt wurde, können gemäß der vorliegenden Erfindung die mittigen Querrippen 69 einen gekrümmten oder gebogenen Profilquerschnitt aufweisen. Zusätzlich können gemäß alternativen Ausführungsformen die Querrippen 67, 68 auf der Druck- und Saugseite ebenfalls gekrümmte Profile aufweisen. Beispielhafte Arten von gekrümmten Profilen sind entlang der Saugseite des Profils 25 in Fig. 9 dargestellt. Wie angegeben ist, können die Querrippe 67, 68 auf der Saugseite und der Druckseite insbesondere einen Bogen zwischen den Wänden bilden, die sie verbinden. Der Bogen kann so ausgerichtet sein, dass eine konvexe Fläche in Richtung der Vorderkante 28 des Profils 25 zeigt. Alternativ kann der Bogen so ausgerichtet sein, dass eine konkave Fläche in Richtung der Vorderkante 28 des Profils 25 zeigt. Wie ebenfalls in Fig. 9 dargestellt ist, können die Querrippen 66, ähnlich wie die Wölbungslinienrippen 62, so ausgelegt sein, dass sie eine «S»-Form aufweisen. Wie angegeben ist, können in einer bevorzugten Ausführungsform die mittigen Querrippen 69 diese Gestaltung aufweisen. In alternativen Ausführungsformen kann eine «S»-Form entweder bei den Querrippen 67 auf der Druckseite oder den Querrippen 68 auf der Saugseite oder bei beiden verwendet werden. Des Weiteren bilden in einer bevorzugten Ausführungsform, wie in Richtung der Vorderkante 28 des Profils 25 in Fig. 9 dargestellt ist, die Querrippe 67 auf der Druckseite,

die Querrippe 68 auf der Saugseite und die mittige Querrippe 69 einen Wellenprofilquerschnitt oder eine «S»-Form durch Abwechseln der Art, wie die von jeder Rippe gebildeten Bögen ausgerichtet sind. Die Querrippe 67 auf der Druckseite weist also eine konvexe Fläche in Richtung der Vorderkante 28 auf, dann ist die mittige Querrippe 69 eine konkave Fläche in Richtung der Vorderkante 28 und dann weist die Querrippe 68 auf der Saugseite eine konvexe Fläche in Richtung der Vorderkante 28 des Profils 25 auf.

[0060] Gemäss der vorliegenden Erfindung kann die Innenstruktur eines Profils Wellenrippen entlang der Wölbungsliniенrichtung des Profils aufweisen. Indem die Wölbungslinienrippe 62 auf diese Weise als eine Feder gefertigt wird, kann das Innengerüst des Profils nachgiebiger gefertigt werden, sodass Leistungsvorteile erzielt werden können. Die Querrippen der Profilkonstruktion können zusätzlich gekrümmmt sein, damit sie den Lastpfad weiter flexibler gestalten und nachgiebigere Verbindungen zu den Rippen 62 und Aussenwänden 26, 27 herstellen, die sie verbinden. Während gängige lineare Rippenausgestaltungen hoch beansprucht sind und aufgrund der Unterschiede zwischen den Hohlraumwänden für die Innenkühlung und den viel heisseren Aussenwänden hinsichtlich des Verhaltens bei Wärmeeinfluss eine Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl aufweisen, stellt die vorliegende Erfindung eine federartige Konstruktion bereit, die besser in der Lage ist, Spannungskonzentrationen zu verteilen, was zur Verbesserung des Lebensdauer des Bauteils verwendet werden kann, wie hier dargelegt ist.

[0061] Wie ein Durchschnittsfachmann erkennt, können die zuvor in Beziehung zu den verschiedenen Ausführungsbeispielen beschriebenen vielen unterschiedlichen Merkmale und Gestaltungen weiterhin gezielt zur Ausbildung der anderen möglichen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung angewendet werden. Der Kürze halber und unter Berücksichtigung der Fähigkeiten eines Durchschnittsfachmann sind nicht alle möglichen Wiederholungen ausführlich dargelegt oder erörtert, obwohl sämtliche Kombinationen und mögliche Ausführungsformen, die die verschiedenen nachstehenden Ansprüche umfassen oder anderweitig enthalten sind, Teil der vorliegenden Anmeldung sein sollen. Aus der vorstehenden Beschreibung mehrerer Ausführungsbeispiele der Erfindung entnehmen Fachleute zudem Verbesserungen, Änderungen und Abwandlungen. Derartige Verbesserungen, Änderungen und Abwandlungen im Rahmen des fachmännischen Könbens sollen die beigefügten Ansprüche ebenfalls umfassen. Es sollte ferner ersichtlich sein, dass die vorangehende Beschreibung nur die beschriebenen Ausführungsformen der vorliegenden Anmeldung betrifft und dass zahlreiche Änderungen und Abwandlungen hieran vorgenommen werden können, ohne dass vom Geist und Geltungsbereich der Anmeldung laut Definition in den folgenden Ansprüchen und deren Entsprechungen abgewichen wird.

[0062] Eine Turbinenschaufel weist ein Profil auf, das durch eine konkav geformte Aussenwand auf der Druckseite und eine konvex geformte Aussenwand auf der Saugseite definiert ist, die entlang einer Vorder- und Hinterkante verbunden sind und dazwischen eine radial verlaufende Kammer zum Aufnehmen des Stroms eines Kühlmittels bilden. Die Turbinenschaufel kann ferner eine Rippenanordnung aufweisen, die die Kammer in radial verlaufende Strömungskanäle unterteilt. Die Rippenanordnung kann eine Wölbungslinienrippe mit einem Wellenprofilquerschnitt aufweisen. Der Wellenprofilquerschnitt kann mindestens eine hin- und hergehende «S»-Form aufweisen.

Bezugszeichenliste

[0063]

Verbrennungsturbine	10
Verdichter	11
Brennkammer	12
Turbine	13
Verdichterlaufschaufel	14
Verdichterleitschaufel	15
Turbinenlaufschaufel	16
Turbinenleitschaufel	17
Fuss	21
Plattform	24
Profil	25
Aussenwand	26 auf der Druckseite
Aussenwand	27 auf der Saugseite
Vorderkante	28

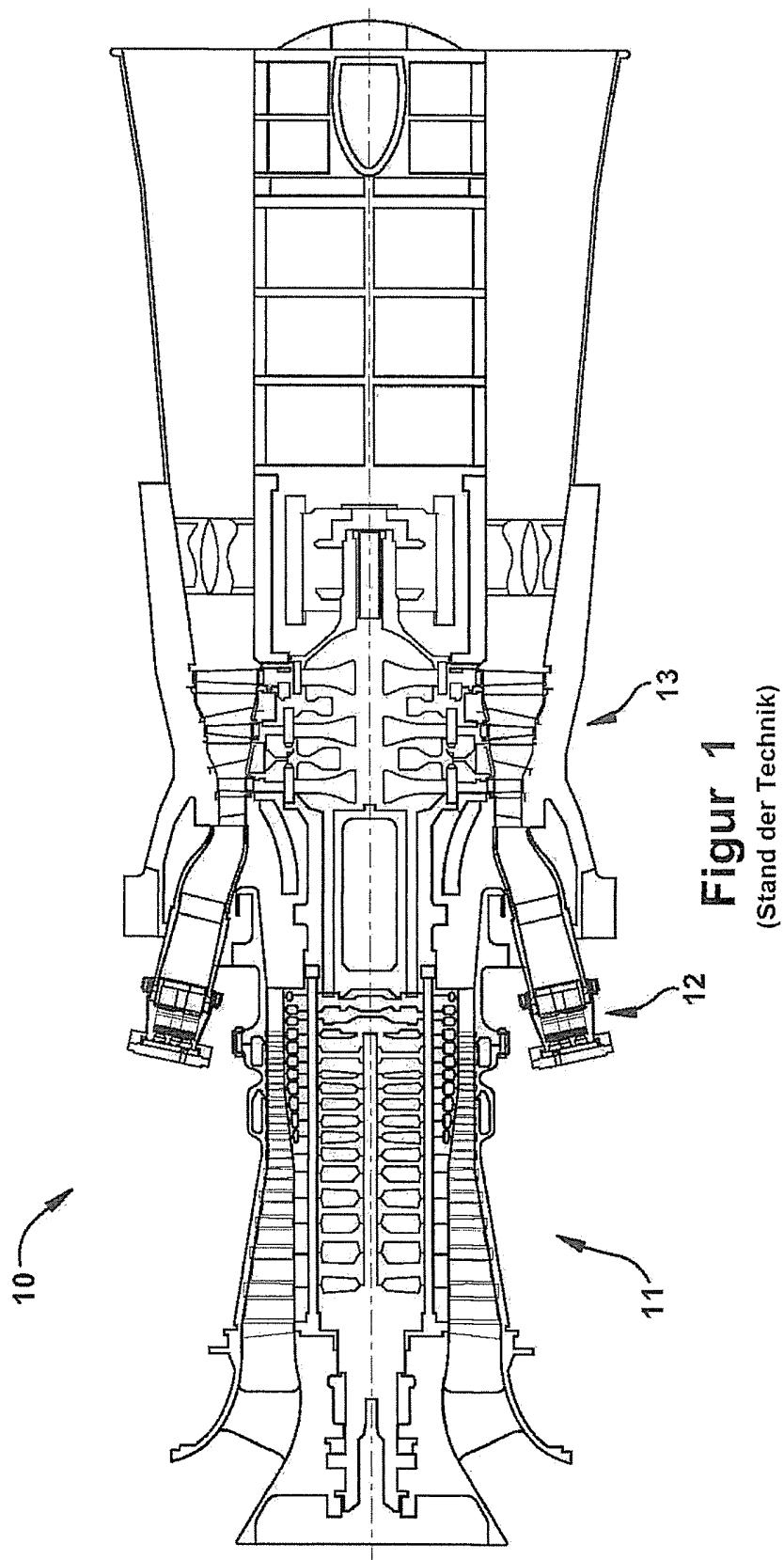
Hinterkante	29
weiter aussen liegende Spitze	31
Strömungskanal	40
mittiger Strömungskanal	41
Strömungskanal	42 der Vorderkante
Strömungskanal	43 auf der Druckseite nahe den Wänden
Strömungskanal	44 auf der Saugseite nahe den Wänden
Zuleitungsvorrichtung	45
Öffnung	46
Querverbindungskanal	47
Prallkühlungsanschluss	48
Oberflächenaustrittsöffnung	49
Rippe	60
Wölbungslinienrippe	62
Wölbungslinienrippe	63 auf der Druckseite
Wölbungslinienrippe	64 auf der Saugseite
Querrippe	66
Querrippe	67 auf der Druckseite
Querrippe	68 auf der Saugseite
mittige Querrippe	69

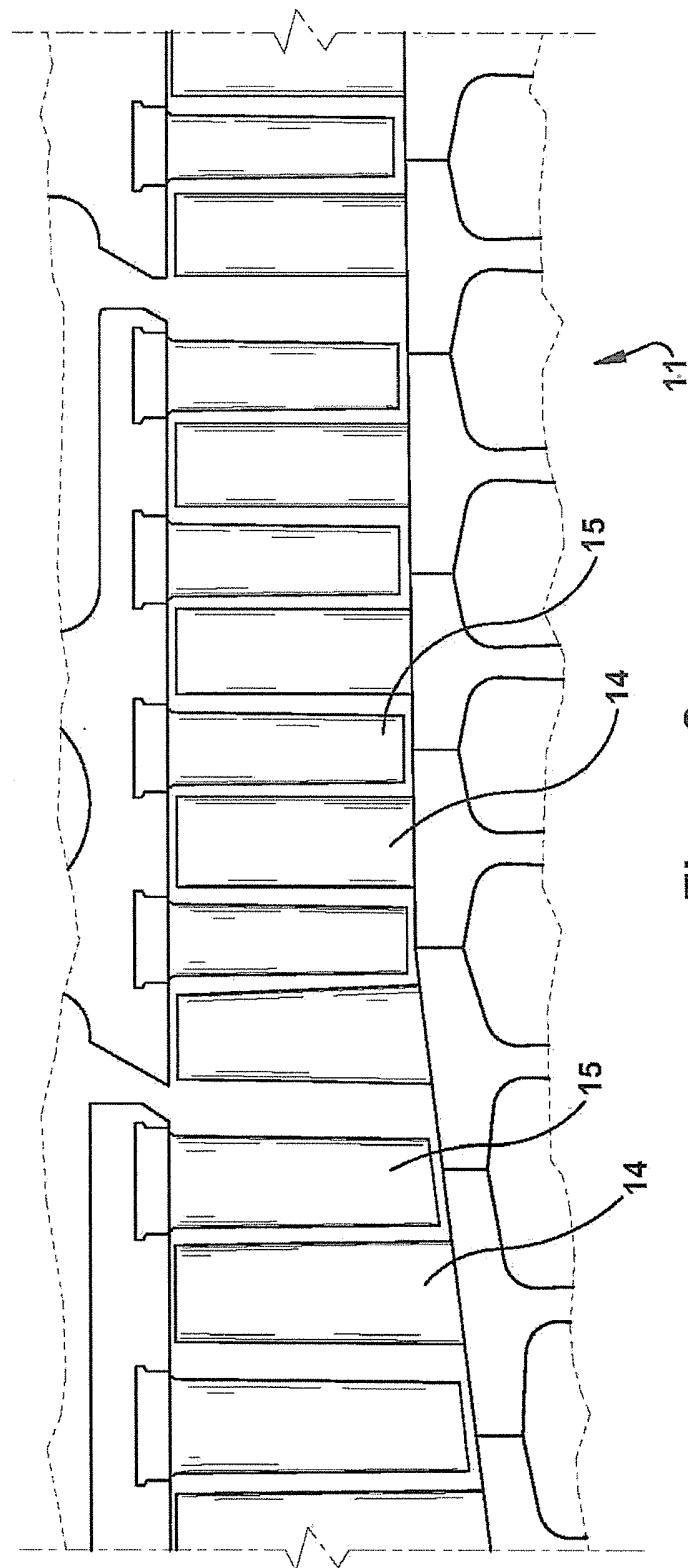
Patentansprüche

1. Turbinenschaufel, die ein Profil umfasst, das durch eine konkav geformte Aussenwand auf der Druckseite und eine konvex geformte Aussenwand auf der Saugseite definiert ist, die entlang einer Vorder- und Hinterkante verbunden sind und dazwischen eine radial verlaufende Kammer zum Aufnehmen des Stroms eines Kühlmittels bilden, wobei die Turbinenschaufel ferner umfasst:
eine Rippenanordnung, die die Kammer in radial verlaufende Strömungskanäle unterteilt;
wobei die Rippenanordnung eine Wölbungslinienrippe mit einem Wellenprofilquerschnitt aufweist.
2. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, wobei der Wellenprofilquerschnitt mindestens eine hin- und hergehende «S»-Form umfasst; und
wobei die Turbinenschaufel eine Turbinenlaufschaufel oder eine Turbinenleitschaufel umfasst; oder wobei der Wellenprofilquerschnitt mindestens zwei aufeinanderfolgende hin- und hergehende «S»-Formen umfasst;
wobei die Turbinenschaufel eine Turbinenlaufschaufel umfasst.
3. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, wobei eine Wölbungslinienrippe mit einem Wellenprofilquerschnitt eine umfasst, die in Richtung der Vorderkante des Profils beginnt und sich über einen Bogenweg, der in Richtung der Hinterkante des Profils verläuft, hin- und herwindet, wobei der Bogenweg ungefähr parallel zu einer Wölbungsbezugslinie des Profils verläuft; und
wobei der Bogenweg der Wölbungslinienrippe eine Länge aufweist, die mindestens 15% einer Länge der Wölbungsbezugslinie des Profils beträgt.

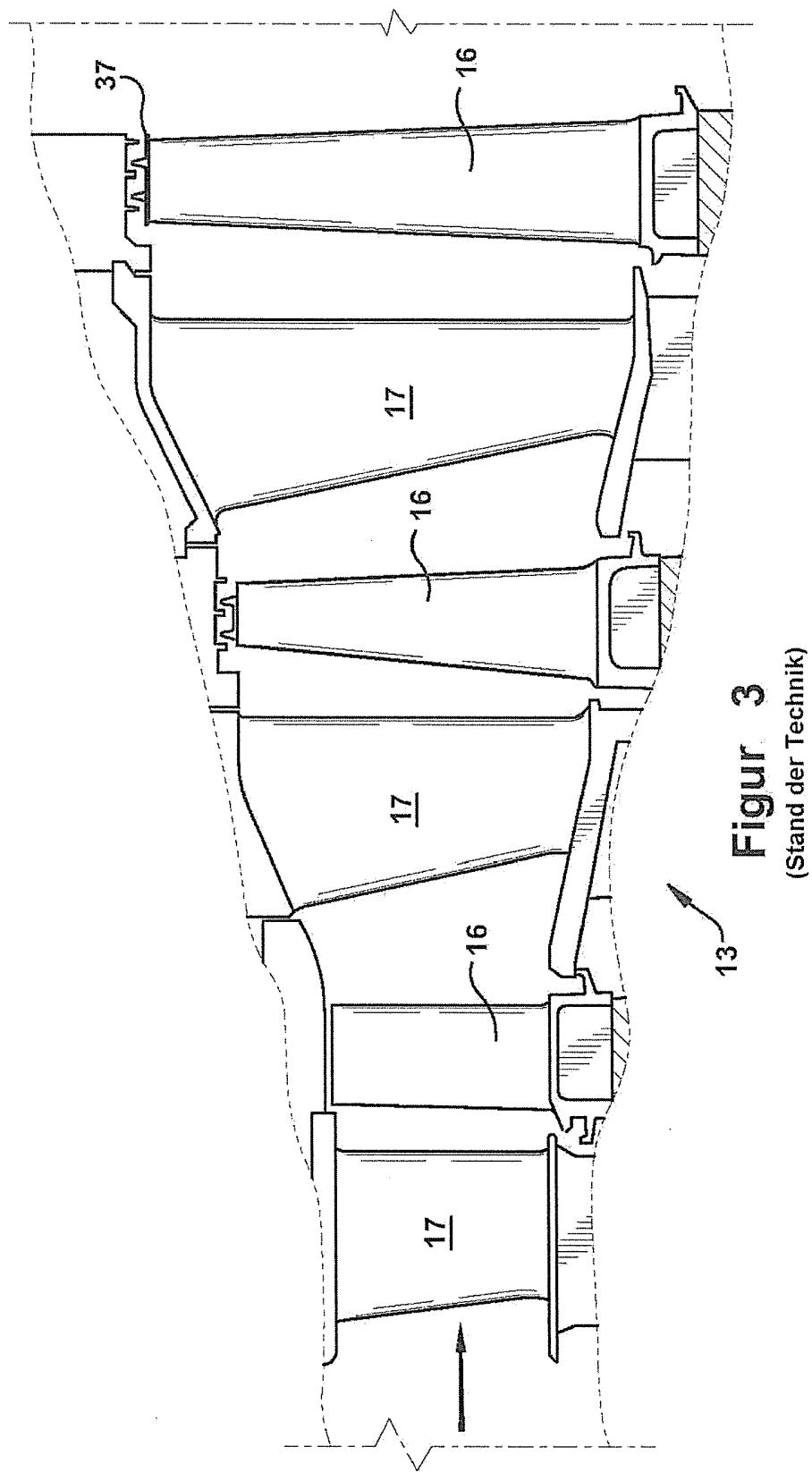
4. Turbinenschaufel nach Anspruch 2, wobei eine Wölbungslinienrippe mit einem Wellenprofilquerschnitt eine umfasst, die nahe der Vorderkante des Profils beginnt und sich über einen Bogenweg, der in Richtung der Hinterkante des Profils verläuft, hin- und herwindet, wobei der Bogenweg ungefähr parallel zu einer Wölbungsbezugslinie des Profils verläuft; und
wobei der Bogenweg der Wölbungslinienrippe eine Länge aufweist, die mindestens 50% einer Länge der Wölbungsbezugslinie des Profils beträgt; und/oder
wobei die Rippenanordnung zwei Wölbungslinienrippen aufweist, bei denen eine Wölbungslinienrippe auf der Druckseite eine umfasst, die sich nahe der Aussenwand auf der Druckseite befindet, und eine Wölbungslinienrippe auf der Saugseite eine umfasst, die sich nahe der Aussenwand auf der Saugseite befindet;
wobei die Wölbungslinienrippe, die den Wellenprofilquerschnitt aufweist, die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite und/oder die Wölbungslinienrippe auf der Saugseite umfasst; und
wobei der Wellenprofilquerschnitt für die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite und/oder die Wölbungslinienrippe auf der Saugseite einen umfasst, der bezogen auf den mittigen Strömungskanal mindestens zwei aufeinanderfolgende Segmente aufweist, bei denen ein erstes konkaves Segment in ein zweites konvexes Segment übergeht; und/oder
wobei die Rippenanordnung zwei Wölbungslinienrippen aufweist, bei denen eine Wölbungslinienrippe auf der Druckseite eine umfasst, die sich nahe der Aussenwand auf der Druckseite befindet, und eine Wölbungslinienrippe auf der Saugseite eine umfasst, die sich nahe der Aussenwand auf der Saugseite befindet, wobei sowohl die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite als auch die Wölbungslinienrippe auf der Saugseite einen Wellenprofilquerschnitt umfassen; und
wobei die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite und die Wölbungslinienrippe auf der Saugseite einen mittigen Strömungskanal dazwischen definieren.
5. Turbinenschaufel nach Anspruch 4, wobei der Wellenprofilquerschnitt für die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite wie auch die Wölbungslinienrippe auf der Saugseite einen umfasst, der bezogen auf den mittigen Strömungskanal mindestens zwei aufeinanderfolgende Segmente aufweist, bei denen ein erstes konkaves Segment in ein zweites konvexes Segment übergeht; und/oder
wobei der Wellenprofilquerschnitt für die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite wie auch die Wölbungslinienrippe auf der Saugseite einen umfasst, der bezogen auf den mittigen Strömungskanal mindestens vier aufeinanderfolgende Segmente aufweist, bei denen ein erstes konkaves Segment in ein zweites konvexes Segment übergeht und das zweite konvexe Segment in ein drittes konkaves Segment übergeht und das dritte konkav Segmente in ein vieres konvexes Segment übergeht; und/oder
wobei der Wellenprofilquerschnitt für die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite wie auch die Wölbungslinienrippe auf der Saugseite einen umfasst, der bezogen auf den mittigen Strömungskanal mindestens drei hintereinander gesetzte konvexe Segmente aufweist; und/oder
wobei der Wellenprofilquerschnitt für die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite wie auch die Wölbungslinienrippe auf der Saugseite einen umfasst, der bezogen auf den mittigen Strömungskanal mindestens drei hintereinander gesetzte konkav Segmente aufweist.
6. Turbinenschaufel nach Anspruch 4, wobei die Rippenanordnung Querrippen umfasst; und
wobei jede der Querrippen eine umfasst, die so ausgelegt ist, dass sie quer über das Profil verläuft, damit sie eine der Wölbungslinienrippen mit der Aussenwand auf der Druckseite, der Aussenwand auf der Saugseite und/oder der anderen Wölbungslinienrippe verbindet.
7. Turbinenschaufel nach Anspruch 4, wobei die Aussenwand auf der Druckseite und die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite einen Druckseiten-Strömungskanal dazwischen definieren; und
wobei die Aussenwand auf der Saugseite und die Wölbungslinienrippe auf der Saugseite einen Saugseiten-Strömungskanal dazwischen definieren.
8. Turbinenschaufel nach Anspruch 7, wobei die Rippenanordnung umfasst:
Querrippen auf der Druckseite, die die Aussenwand auf der Druckseite mit der Wölbungslinienrippe auf der Druckseite verbinden und dadurch den Druckseiten-Strömungskanal unterteilen;
Querrippen auf der Saugseite, die die Aussenwand auf der Saugseite mit der Wölbungslinienrippe auf der Saugseite verbinden und dadurch den Saugseiten-Strömungskanal unterteilen; und
mindestens eine mittige Querrippe, die die Wölbungslinienrippe auf der Druckseite mit der Wölbungslinienrippe auf der Saugseite verbindet und dadurch den mittigen Strömungskanal unterteilt; und/oder
wobei die Rippenanordnung so angeordnet ist, dass der Druckseiten-Strömungskanal, der Saugseiten-Strömungskanal und der mittige Strömungskanal radial zwischen einem ersten Ende, das nahe einer weiter innen liegenden Grenze des Profils angeordnet ist, und einem zweiten Ende, das nahe einer weiter aussen liegenden Grenze des Profils angeordnet ist, verlaufen; und
wobei der Druckseiten-Strömungskanal, der Saugseiten-Strömungskanal und/oder der mittige Strömungskanal an einen Zuleitungskanal angeschlossen sind bzw. ist, der so ausgelegt ist, dass er während des Betriebs einen Strom Kühlungsmittel durch einen Fuss der Laufschaufel erhält; und/oder
wobei die Rippenanordnung vier Querrippen auf der Druckseite und vier Querrippen auf der Saugseite umfasst; und
wobei die Rippenanordnung zwei mittige Querrippen umfasst.

9. Turbinenschaufel nach Anspruch 8, wobei zwei der vier Querrippen auf der Druckseite so ausgelegt sind, dass sie einen Verbindungswinkel mit der Aussenwand auf der Druckseite von weniger als ungefähr 60 Grad bilden; wobei zwei der vier Querrippen auf der Saugseite so ausgelegt sind, dass sie einen Verbindungswinkel mit der Aussenwand auf der Saugseite von weniger als ungefähr 60 Grad bilden; und eine der zwei mittigen Querrippen einen Verbindungswinkel von weniger als ungefähr 60 Grad an der Wölbungslinienrippe auf der Saugseite wie auch der Wölbungslinienrippe auf der Druckseite bildet; und/oder wobei drei der vier Querrippen auf der Druckseite so ausgelegt sind, dass sie einen Verbindungswinkel mit der Aussenwand auf der Druckseite von weniger als ungefähr 60 Grad bilden; wobei drei der vier Querrippen auf der Saugseite so ausgelegt sind, dass sie einen Verbindungswinkel mit der Aussenwand auf der Saugseite von weniger als ungefähr 60 Grad bilden; und die beiden Querrippen einen Verbindungswinkel von weniger als ungefähr 60 Grad an der Wölbungslinienrippe auf der Saugseite wie auch der Wölbungslinienrippe auf der Druckseite bilden; und/oder wobei eine der mittigen Querrippen einen Bogen zwischen der Wölbungslinienrippe auf der Saugseite und der Wölbungslinienrippe auf der Druckseite umfasst; und/oder wobei beide mittigen Querrippen einen Bogen zwischen der Wölbungslinienrippe auf der Saugseite und der Wölbungslinienrippe auf der Druckseite umfassen; und wobei der Bogen von jeder der beiden mittigen Querrippen eine konkave Fläche umfasst, die in Richtung der Vorderkante gerichtet ist; und/oder wobei beide mittigen Querrippen einen Bogen zwischen der Wölbungslinienrippe auf der Saugseite und der Wölbungslinienrippe auf der Druckseite umfassen; und wobei der Bogen von jeder der beiden mittigen Querrippen eine konvexe Fläche umfasst, die in Richtung der Vorderkante gerichtet ist; und/oder wobei eine der mittigen Querrippen einen Profilquerschnitt mit einer «S»-Form umfasst und wobei die «S»-Form bezogen auf die Vorderkante des Profils zwei aufeinanderfolgende gekrümmte Flächen aufweist, bei denen eine erste konkave Fläche in eine zweite konvexe Fläche übergeht.
10. Turbinenlaufschaufel, die ein Profil umfasst, das durch eine konkav geformte Aussenwand auf der Druckseite und eine konvex geformte Aussenwand auf der Saugseite definiert ist, die entlang einer Vorder- und Hinterkante verbunden sind und dazwischen eine radial verlaufende Kammer zum Aufnehmen des Stroms eines Kühlmittels bilden, wobei die Turbinenschaufel ferner umfasst:
eine Rippenanordnung, die die Kammer in radial verlaufende Strömungskanäle unterteilt;
wobei die Rippenanordnung eine Wölbungslinienrippe mit einem Wellenprofilquerschnitt aufweist, wobei der Wellenprofilquerschnitt mindestens zwei aufeinanderfolgende hin- und hergehende «S»-Formen umfasst; und
wobei die Wölbungslinienrippe mit dem Wellenprofilquerschnitt nahe der Vorderkante des Profils beginnt und sich der Wellenprofilquerschnitt über einen Bogenweg, der in Richtung der Hinterkante des Profils verläuft, hin- und herwindet, wobei der Bogenweg ungefähr parallel zu einer Wölbungsbezugslinie des Profils verläuft.

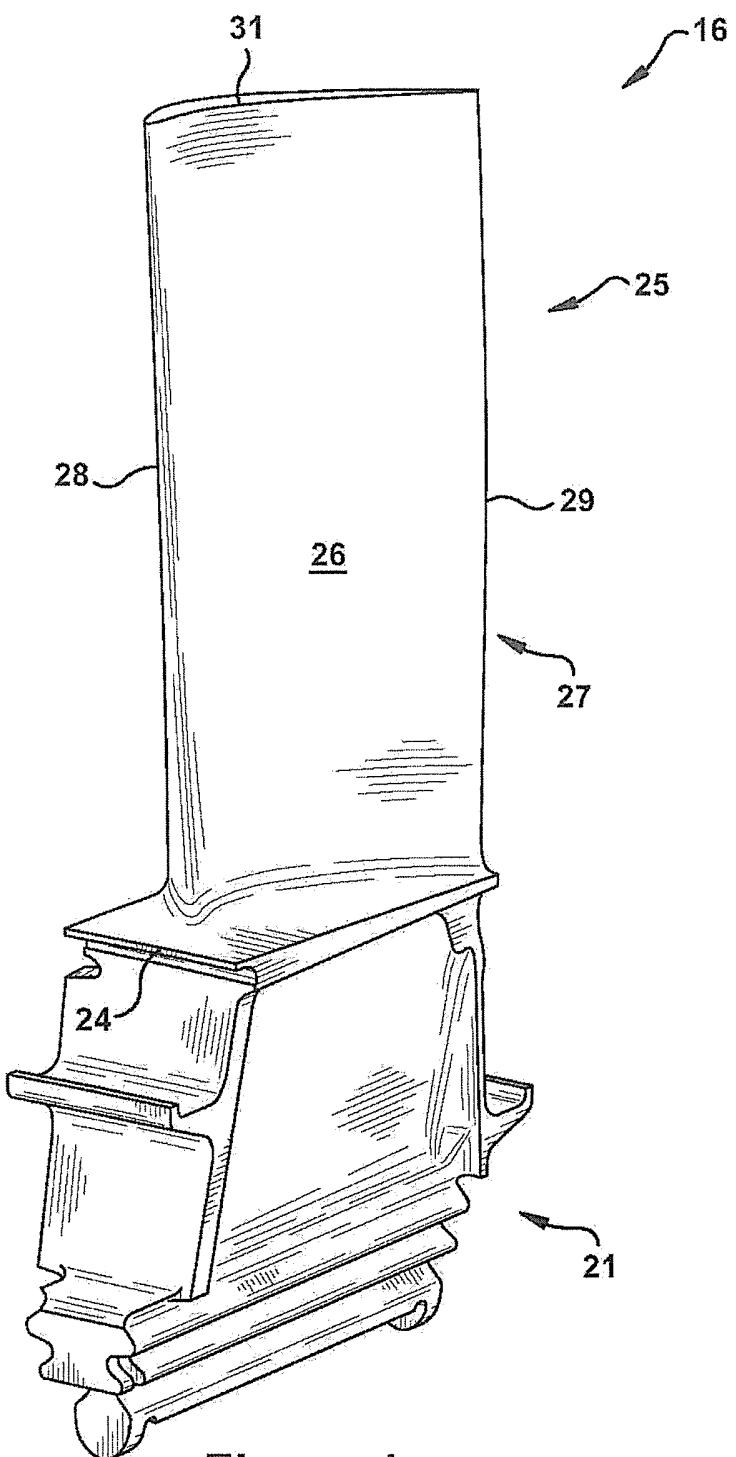




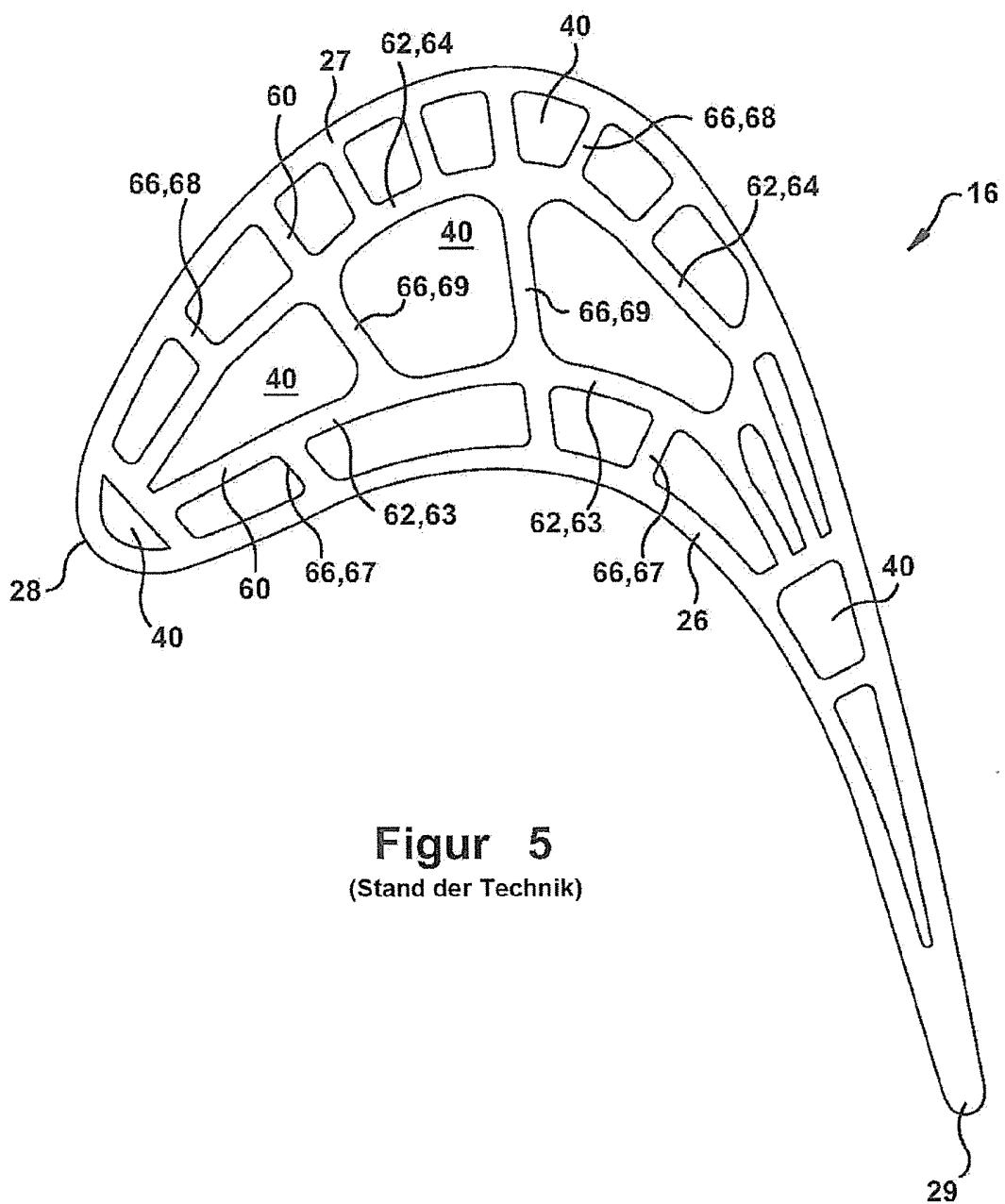
Figur 2
(Stand der Technik)



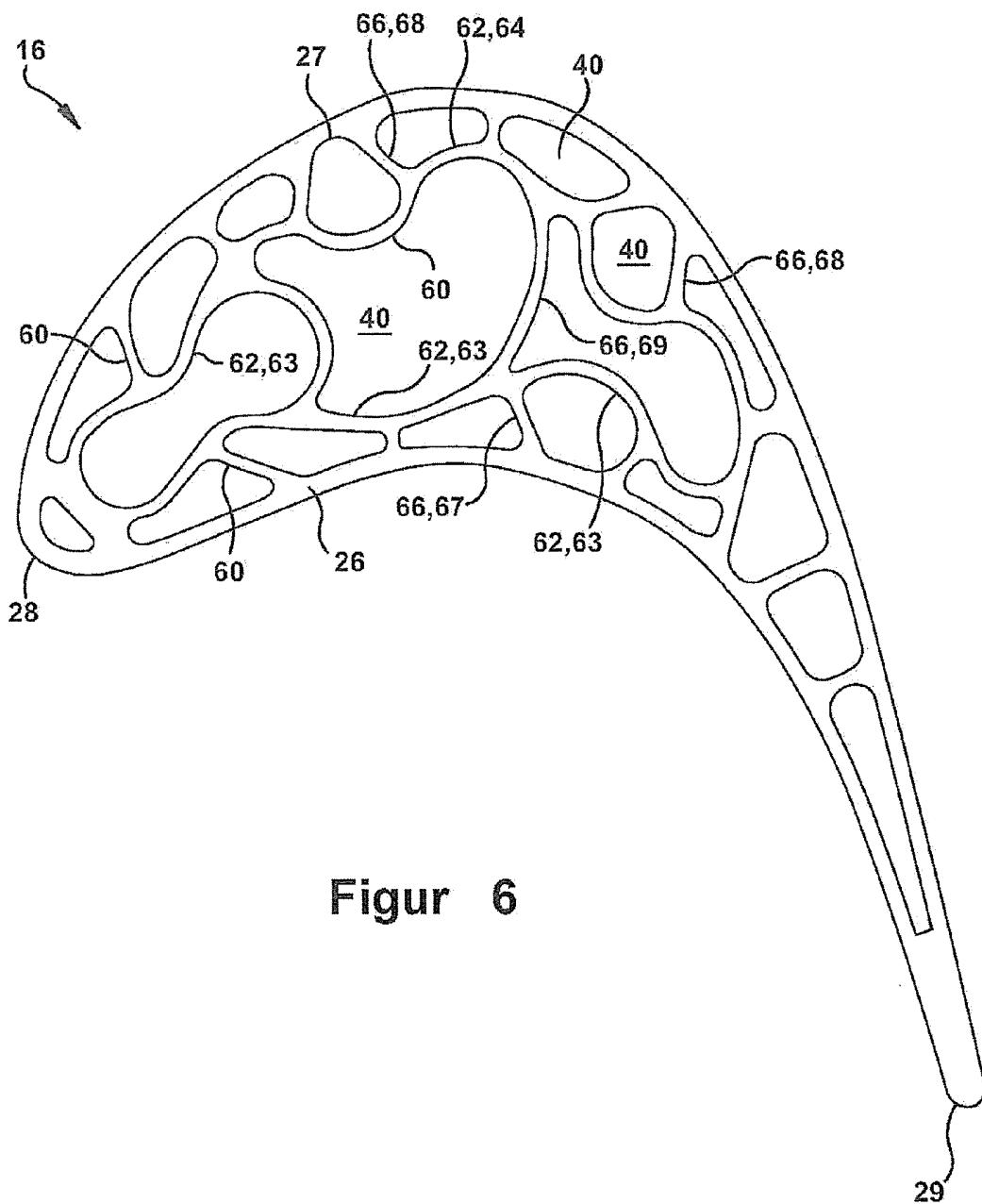
Figur 3
(Stand der Technik)



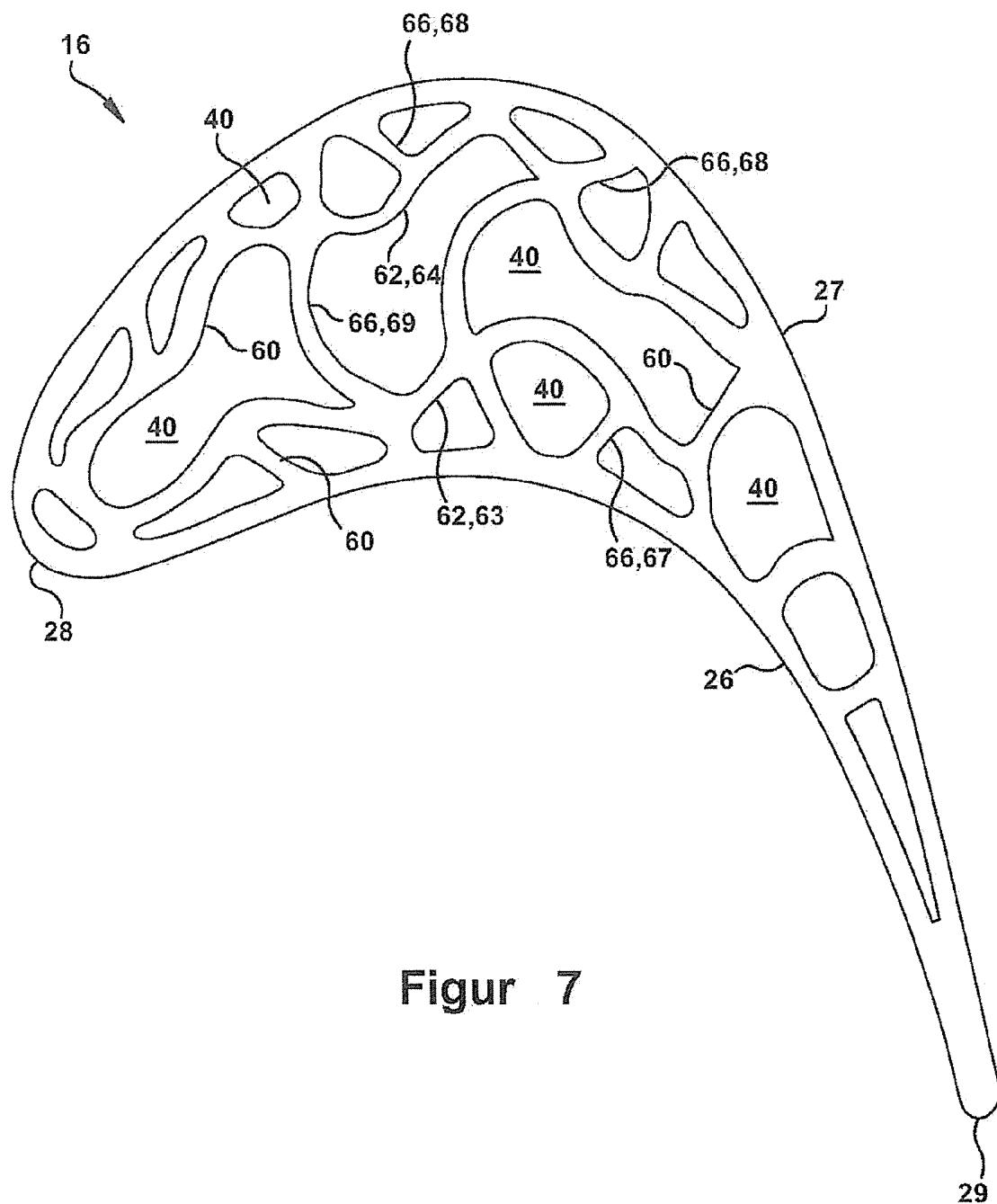
Figur 4
(Stand der Technik)



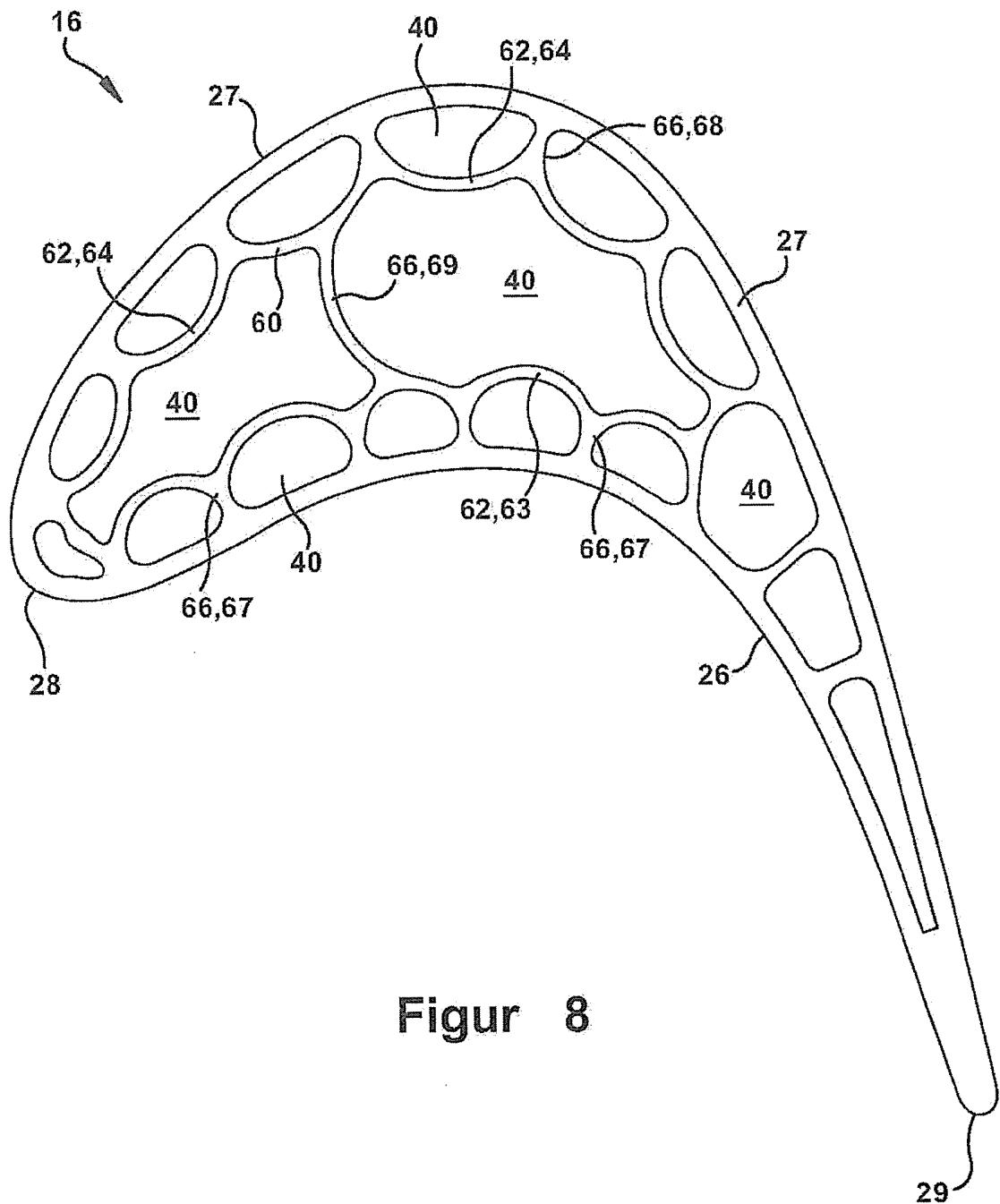
Figur 5
(Stand der Technik)



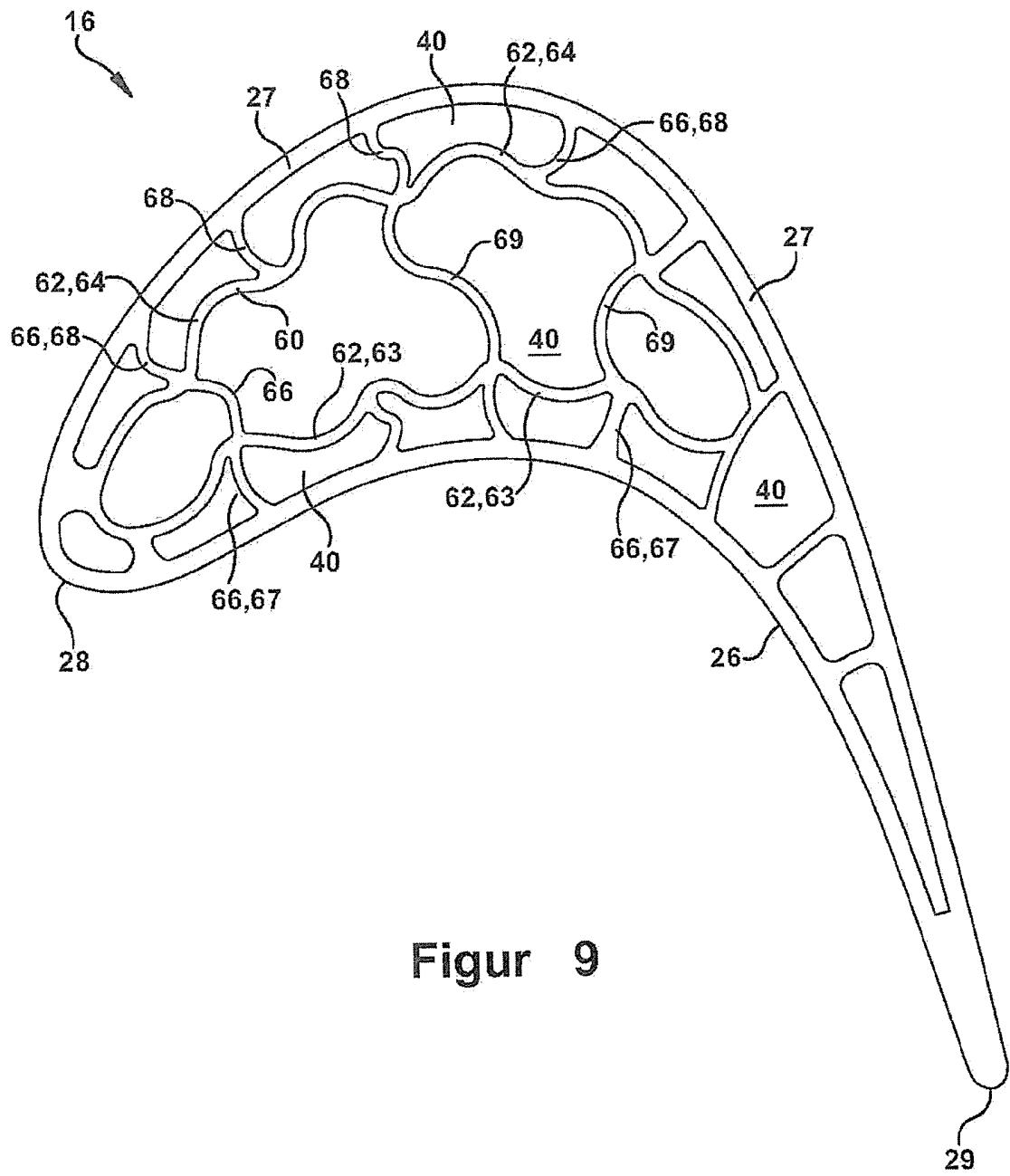
Figur 6



Figur 7



Figur 8



Figur 9