



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
15.05.2019 Patentblatt 2019/20

(51) Int Cl.:
F01D 5/14 (2006.01) **F01D 5/18 (2006.01)**
F01D 5/08 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **18204562.5**

(22) Anmeldetag: **06.11.2018**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **Daehnert, Jerrit**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)
• **Guridi, Josu**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)

(74) Vertreter: **Müller, Wolfram Hubertus**
Patentanwalt
Teltower Damm 15
14169 Berlin (DE)

(30) Priorität: **08.11.2017 DE 102017126105**

(71) Anmelder: **Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)

(54) **TURBINENSCHAUFEL EINES TURBINEN-LAUSCHAUFELKRANZES**

(57) Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel (200) eines Turbinen-Laufschaukelkranzes, die eine Saugseite (24), eine Druckseite (25) und einen Kühlluftkanal (16) aufweist, durch den ein Kühlmedium zum Kühlen der Turbinenschaufel (200) transportierbar ist. Der Kühlluftkanal (16) weist in mindestens einem Abschnitt einen Verlauf derart auf, dass seine Querschnittsfläche sich in Strömungsrichtung des Kühlmediums in einem ersten, sich erweiternden Teilabschnitt (3) bis zu einem Maximum vergrößert, seine Querschnittsfläche sich in einem zweiten, sich verengenden Teilabschnitt (6) hinter dem Maximum reduziert, und das Kühlmedium in dem zweiten, sich verengenden Teilabschnitt (6) mit einer Richtungskomponente in Richtung der Saugseite (24) der Turbinenschaufel (200) beschleunigt wird. Es ist vorgesehen, dass der Kühlluftkanal (16) im Bereich des Maximums eine Ausbuchtung (7) in Richtung der Druckseite (25) bildet, wobei das Kühlmedium in dem ersten Teilbereich (3) in Richtung der Druckseite (25) und in dem zweiten Teilbereich (6) in Richtung der Saugseite abgelenkt wird. Die Erfindung betrifft des Weiteren ein Verfahren zum Transportieren eines Kühlmediums in einer Turbinenschaufel eines Turbinen-Laufschaukelkranzes.

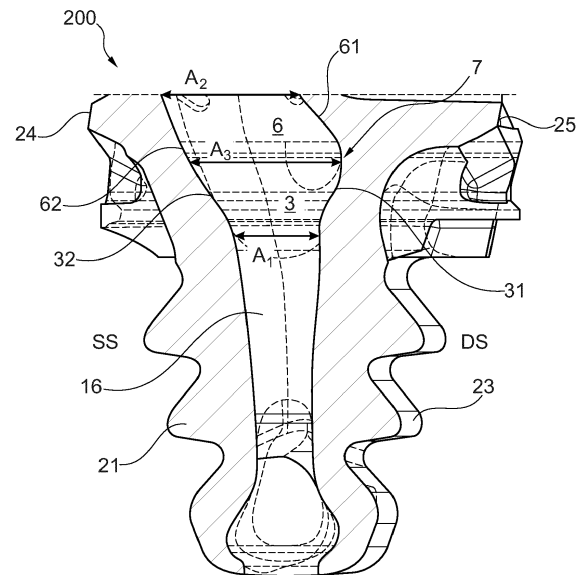


Fig. 7

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel eines Turbinen-Laufschaufelkranzes gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und ein Verfahren zum Transportieren eines Kühlmediums in einer Turbinenschaufel eines Turbinen-Laufschaufelkranzes.

[0002] Es ist bekannt, die Turbinenschaufeln einer Gasturbine zu kühlen. Zur Kühlung der Turbinenschaufeln weisen diese interne Kühlluftkanäle auf, die mit Luft beaufschlagt werden. Dabei wirkt im Betrieb der Gasturbine auf das Kühlmedium die Corioliskraft. Da eine Turbinenschaufel eine Drehrichtung in Richtung der Saugseite aufweist, wird das Kühlmedium durch die Corioliskraft in Richtung der Druckseite abgelenkt. Dies führt dazu, dass das Kühlmedium unterschiedliche Wandbereiche des Kühlluftkanals in unterschiedlichem Maße kühlt. Die damit einhergehende Inhomogenität der Kühlung reduziert deren Effektivität und kann thermische Spannungen im Material induzieren.

[0003] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine Turbinenschaufel und ein Verfahren zum Transportieren eines Kühlmediums in einer Turbinenschaufel bereitzustellen, die eine verbesserte Kühlung der Turbinenschaufel ermöglichen.

[0004] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Turbinenschaufel mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 15 gelöst. Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0005] Danach sieht die Erfindung in einem ersten Erfindungsaspekt vor, dass ein Kühlluftkanal einer Turbinenschaufel in mindestens einem Abschnitt einen Verlauf derart aufweist, dass seine Querschnittsfläche sich in Strömungsrichtung des Kühlmediums in einem ersten, sich erweiternden Teilabschnitt bis zu einem Maximum vergrößert, sich anschließend in einem zweiten, sich verengenden Teilabschnitt hinter dem Maximum wieder reduziert und dabei das Kühlmedium in dem zweiten, sich verengenden Teilabschnitt mit einer Richtungskomponente in Richtung der Saugseite der Turbinenschaufel beschleunigt wird. Dabei ist vorgesehen, dass der Kühlluftkanal im Bereich des Maximums eine Ausbuchtung in Richtung der Druckseite bildet, wobei das Kühlmedium in dem ersten Teilabschnitt in Richtung der Druckseite und in dem zweiten Teilabschnitt in Richtung der Saugseite abgelenkt wird.

[0006] Die vorliegende Erfindung beruht auf dem Gedanken, das Kühlmedium in dem ersten, sich erweiternden Teilabschnitt erst zu verzögern und anschließend in dem zweiten, sich verengenden Teilabschnitt zu beschleunigen und dabei den Kühlluftkanal derart zu formen, dass das Kühlmedium bei der Beschleunigung, die es im sich verengenden zweiten Teilabschnitt erfährt, in Richtung der Saugseite der Turbinenscheibe abgelenkt wird. Hierdurch wird die Wirkung der Corioliskraft, die das Kühlmedium während der Rotation der Turbinenschaufel in Richtung der Druckseite beschleunigt, zumin-

dest teilweise kompensiert. Das Kühlmedium kann dadurch verbessert im Kühlluftkanal strömen, wobei gleichwohl der Wärmeübergang über alle Wände des Kühlluftkanals vergleichmäßig wird. Als Ergebnis liegt eine homogenere Temperaturverteilung und verbesserte Kühlung der Turbinenschaufel vor.

[0007] Durch die homogenere Temperaturverteilung werden darüber hinaus thermisch induzierte Spannungen im Material der Turbinenscheibe reduziert.

[0008] Zur Beschleunigung des Kühlmediums in dem zweiten, sich verengenden Teilabschnitt mit einer Richtungskomponente in Richtung der Saugseite der Turbinenschaufel ist der Kühlluftkanal dabei derart geformt, dass er im Bereich des Maximums eine Ausbuchtung in Richtung der Druckseite bildet, d.h. nur in Richtung der Druckseite oder stärker in Richtung der Druckseite als in Richtung der Saugseite ausgebuchtet ist. Diese Formgebung des ersten Teilabschnitts bewirkt, dass das Kühlmedium im ersten Teilabschnitt in Richtung der Druckseite geführt und dadurch im zweiten Teilabschnitt effektiv in Richtung der Saugseite beschleunigt bzw. abgelenkt werden kann.

[0009] Die Erfindung führt zu einer Ausbuchtung des Kühlluftkanals, welche durch die sich erweiternden und verengenden Teilabschnitte entsteht.

[0010] Die vorliegende Erfindung wird bezogen auf ein zylindrisches Koordinatensystem beschrieben, das die Koordinaten x , r und φ aufweist. Dabei gibt x die axiale Richtung, r die radiale Richtung und φ den Winkel in Umfangsrichtung an. Die axiale Richtung ist in der Regel identisch mit der Maschinenachse einer Gasturbine bzw. eines Turbofan-Triebwerks, in der die Erfindung realisiert ist. Von der x -Achse ausgehend zeigt die radiale Richtung radial nach außen. Begriffe wie "vor", "hinter", "vordere" und "hintere" beziehen sich auf die axiale Richtung bzw. die Strömungsrichtung in der Gasturbine oder des hier beschriebenen Kühlluftkanals. Die Bezeichnung "vor" bedeutet somit "stromaufwärts" und die Bezeichnung "hinter" bedeutet "stromabwärts". Begriffe wie "äußere" oder "innere" beziehen sich auf die radiale Richtung.

[0011] Der geometrische Verlauf eines Kühlluftkanals wird hierin zweckmäßigerweise über seine Mittellinie beschrieben, welche die Verbindungslinie aller geometrischen Mittelpunkte (Flächenschwerpunkte) der Querschnittsflächen des Kühlluftkanals darstellt. Eine für die Strömung repräsentative Querschnittsfläche des Kühlluftkanals ist dabei so definiert, dass die Mittellinie des Kühlluftkanals die Ebene der Querschnittsfläche stets senkrecht durchstößt. Mit anderen Worten entspricht also der Normalvektor einer solchen Querschnittsfläche dem Tangentenvektor an die Mittellinie im geometrischen Mittelpunkt (Flächenschwerpunkt) der jeweiligen Querschnittsfläche.

[0012] Der Kühlluftkanal weist am Anfang des sich erweiternden Teilabschnitts eine erste Querschnittsfläche A1, am Ende des sich verengenden Teilabschnitts eine zweite Querschnittsfläche A2 und am Maximum eine drit-

te Querschnittsfläche A3 auf.

[0013] Für das Verhältnis von erster Querschnittsfläche A1 und dritter Querschnittsfläche A3 gilt gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung: $1 < A3/A1 \leq 5$. Das Verhältnis von maximaler Querschnittsfläche zur Querschnittsfläche am Anfang des ersten Teilabschnitts soll gemäß dieser Ausgestaltung der Erfindung somit kleiner als 5 sein. Die Querschnittsfläche soll sich im ersten Teilbereich um maximal den Faktor 5 vergrößern, um eine zu starke Verzögerung der Strömung des Kühlluftmediums zu vermeiden.

[0014] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass für das Verhältnis von erster Querschnittsfläche A1, zweiter Querschnittsfläche A2 und dritter Querschnittsfläche A3 gilt: $A1 < A2 < A3$. Mathematisch kann dies auch durch die Beziehung ausgedrückt werden: $A3/A1 > A3/A2$. Die (zweite) Querschnittsfläche am Ende des zweiten, sich verjüngenden Teilbereichs ist also größer als die (erste) Querschnittsfläche am Anfang des ersten, sich erweiternden Teilbereichs. Beide diese Querschnitte sind kleiner als der maximale Querschnitt am Übergang vom ersten Teilbereich zum zweiten Teilbereich. Dabei ist zu beachten, dass das Kühlmedium im zweiten Teilabschnitt zusätzlich eine Beschleunigungs- und Richtungskomponente in Richtung der Saugseite der Turbinenschaufel erfährt.

[0015] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass der Kühlluftkanal über den ersten, sich erweiternden Teilabschnitt einen maximalen Grad an Divergenz nicht überschreitet. Ähnlich einer Öffnungswinkeldefinition für Diffusoren wird hier zweckmäßigerweise der Zuwachs der Querschnittsfläche des Kühlluftkanals im ersten Teilabschnitt auf die Länge des Strömungsweges in Selbigen bezogen, so dass dieses Verhältnis den Grad an Divergenz im ersten Teilabschnitt beschreibt. Dabei ist im Sinne der vorliegenden Erfindung dieses Verhältnis definiert als

$$\frac{(\sqrt[2]{A3-A1})}{s} \leq 6.$$

[0016] Hierin beschreibt die Größe s die Länge des Kühlluftkanals entlang seiner Mittellinie im ersten Teilabschnitt und die bereits zuvor genannten Größen A1 und A3 die Querschnittsflächen des Kühlluftkanals zu Beginn und respektive zum Ende des ersten Teilabschnitts.

[0017] Das so definierte Verhältnis, das den Grad an Divergenz im sich erweiternden Teilabschnitt angibt, liegt somit bei maximal 6. Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung liegt das genannte Verhältnis im Bereich zwischen 1,25 und 6 und insbesondere im Bereich zwischen

$$1,25 \leq \frac{(\sqrt[2]{A3-A1})}{s} \leq 2.$$

1,25 und 2:

[0018] Die Ausgestaltung des Kühlluftkanals kann rotationssymmetrisch oder rotations-asymmetrisch bezüglich seiner Mittellinie sein.

[0019] Eine Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass der Kühlluftkanal im Bereich des ersten Teilabschnittes eine Rotations-Asymmetrie bezüglich seiner Mittellinie aufweist, die Kanalaufweitung also eine Vorzugsrichtung hat.

[0020] Weiter kann vorgesehen sein, dass die Aufweitung des Kühlluftkanals alleinig oder stärker in Richtung der Druckseite der Beschaufelung erfolgt. Somit ist bei dieser Erfindungsvariante die Divergenz im ersten Teilabschnitt in Richtung der Druckseite der Schaufel größer als die Divergenz in Richtung der Saugseite. Die erfindungsgemäße Ausbuchtung des Kühlluftkanals erfolgt mit anderen Worten in Richtung der Druckseite. Hierdurch kann das Kühlmedium in zweiten Teilabschnitt effektiver in Richtung der Saugseite beschleunigt werden. Eine Divergenz im ersten Teilabschnitt, die in Richtung der Druckseite der Schaufel größer als in Richtung der Saugseite, geht damit einher, dass die Mittellinie des Kühlluftkanals im ersten Teilabschnitt eine Richtungskomponente in Richtung der Druckseite der Turbinenschaufel aufweist bzw. in Richtung der Druckseite geneigt ist.

[0021] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass der Kühlluftkanal im sich verengenden Teilabschnitt einen Umlenkwinkel δ aufweist, der kleiner als 175° ist und beispielsweise im Bereich zwischen 110° und 170° , insbesondere im Bereich zwischen 140° und 170° liegt. Der Umlenkwinkel gibt dabei den Grad an Umlenkung des Kühlluftkanals im zweiten Teilabschnitt an. Genauer ist δ als jener Winkel definiert, der sich zwischen den beiden Vektoren $\vec{A3A1}$ und $\vec{A3A2}$ aufspannt. Beide Vektoren beschreiben jeweils die direkt Verbindungslinie zwischen den geometrischen Mittelpunkten (Flächenschwerpunkten) der Querschnittsflächen A3 und A2 bzw. A3 und A1. Diese Definition gibt somit den mittleren Umlenkwinkel des Kühlluftkanals über beide Teilabschnitte, in Richtung der Saugseite an.

[0022] Eine Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass zur Beschleunigung des Kühlmediums in dem zweiten, sich verengenden Teilabschnitt mit einer Richtungskomponente in Richtung der Saugseite der Turbinenschaufel der Kühlluftkanal derart geformt ist, dass die Mittellinie des Kühlluftkanals in dem sich verengenden Teilabschnitt eine Richtungskomponente in Richtung der Saugseite der Turbinenschaufel aufweist.

[0023] Dagegen ist der erste, sich erweiternde Teilabschnitt gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung derart geformt, dass die Mittellinie des Kühlluftkanals im ersten Teilabschnitt eine Richtungskomponente in Richtung der Druckseite der Turbinenschaufel aufweist.

[0024] Ein Anfang eines ersten, sich erweiternden Teilabschnitts soll im Sinne der vorliegenden Erfindung dann vorliegen, wenn der Kühlluftkanal stromaufwärts eines solchen Anfangs einen konstanten Querschnittsverlauf aufweist, einen konvergenten Verlauf aufweist oder einen divergenten Verlauf aufweist, der so geringfügig ist, dass sich die Querschnittsfläche entlang der Mittellinie des Kühlluftkanals stromaufwärts des betrach-

teten Anfangs des ersten Teilabschnitts nur geringfügig vergrößert. Eine nur geringfügige Vergrößerung im Sinne der vorliegenden Erfindung liegt dabei dann vor, wenn

der Grad der Divergenz des Kühlluftkanals $\frac{\sqrt[2]{\Delta A}}{s}$ kleiner

als 1.25 ist, also $1.25 > \frac{\sqrt[2]{\Delta A}}{s}$ gilt. Mit anderen Worten, liegt eine geringfügige Vergrößerung dann vor, wenn in einem beliebig kleinen Längsabschnitt der Länge s die Querschnittsfläche um einen Betrag $\Delta A < (1.25 \cdot s)^2$ zunimmt.

[0025] Der betrachtete Kühlluftkanal kann grundsätzlich an beliebiger Stelle in der Turbinenschaufel eine erfindungsgemäße Ausgestaltung zur Beschleunigung des Kühlmediums in Richtung der Saugseite aufweisen. In besonders effektiver Weise ist eine solche Ausgestaltung in einem Abschnitt des Kühlluftkanals vorgesehen, in dem das Kühlmedium sich primär in radialer Richtung bewegt und bevor sich der Kühlluftkanal in eine Vielzahl kleinerer Kühlkanäle verzweigt. Dementsprechend sieht eine Ausgestaltung der Erfindung vor, dass die Turbinenschaufel einen Schaufelfuß aufweist, der dazu vorgesehen und geeignet ist, in einer Schaufelfußaufnahme einer Turbinenscheibe angeordnet zu sein, wobei der erste sich erweiternde Teilabschnitt und der zweite sich verengenden Teilabschnitt in einem Abschnitt des Kühlluftkanals ausgebildet sind, der im Schaufelfuß angeordnet ist.

[0026] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Querschnittsfläche des zweiten, sich verengenden Teilabschnitts hinter dem Maximum sukzessive und ohne einen Sprung abnimmt.

[0027] Die Erfindung betrifft des Weiteren einen Turbinen-Laufschaukelkranz für eine Gasturbine mit einer Turbinenschaufel gemäß Anspruch 1 und eine Gasturbine, insbesondere ein Turbofantriebwerk mit einem solchen Turbinen-Laufschaukelkranz.

[0028] Die Erfindung sieht in einem zweiten Erfindungsaspekt ein Verfahren zum Transportieren eines Kühlmediums in einer Turbinenschaufel eines Turbinen-Laufschaukelkranzes vor, bei dem das Kühlmedium in einem ersten Teilabschnitt des Kühlluftkanals verzögert und anschließend in einem sich daran anschließenden zweiten Teilabschnitt mit einer Richtungskomponente in Richtung der Saugseite der Turbinenschaufel beschleunigt wird.

[0029] Dabei wird das Kühlmedium derart geführt, dass es in dem ersten Teilabschnitt zunächst eine Richtungskomponente in Richtung der Druckseite und im zweiten Teilabschnitt eine Richtungskomponente in Richtung der Saugseite erfährt und somit in Richtung der Saugseite umgeleitet wird. Durch das Führen des Kühlmediums zunächst in Richtung der Druckseite wird eine Umleitung in Richtung der Saugseite im zweiten Teilbereich erleichtert.

[0030] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren der Zeichnung anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

- 5 Figur 1 eine vereinfachte schematische Schnittdarstellung eines Turbofantriebwerks, in dem die vorliegende Erfindung realisierbar ist;
- 10 Figur 2 ein Negativmodell einer Turbinenschaufel unter Darstellung der in der Turbinenschaufel realisierten Kühlluftkanäle;
- 15 Figur 3 die Außenkonturen einer Turbinenschaufel in einer Ansicht von vorne unter zusätzlicher Darstellung der Kühlluftkanäle gemäß der Figur 2;
- 20 Figur 4 die Turbinenschaufel der Figur 3 in einer Seitenansicht auf die Druckseite;
- 25 Figur 5 den Schaufelfuß der Turbinenschaufel der Figuren 3 und 4 in einer Ansicht schräg von vorne;
- 30 Figur 6 schematisch den Verlauf eines im Schaufelfuß ausgebildeten Kühlluftkanals, dessen Querschnittsfläche sich in Strömungsrichtung des Kühlmediums in einem ersten Teilabschnitt vergrößert und anschließend in einem zweiten Teilabschnitt reduziert, wobei das Kühlmedium in Richtung der Saugseite der Turbinenschaufel beschleunigt wird;
- 35 Figur 7 eine Querschnittsansicht eines Schaufelfußes gemäß der Figur 5 in einer Ebene senkrecht zur axialen Richtung, wobei der Schaufelfuß einen Kühlluftkanal ausbildet, dessen Querschnittsfläche sich entsprechend der Figur 6 in Strömungsrichtung des Kühlmediums in einem ersten Teilabschnitt vergrößert und in einem zweiten Teilabschnitt reduziert;
- 40 Figur 8 eine Querschnittsansicht des Schaufelfußes der Figur 7 in einer Ebene senkrecht zur radialen Richtung in einer radialen Höhe, die dem Ende des zweiten Teilabschnitts entspricht;
- 45 Figur 9 eine Querschnittsansicht des Schaufelfußes der Figur 7 in einer Ebene senkrecht zur radialen Richtung in einer radialen Höhe, die dem Ende des ersten Teilabschnitts entspricht; und
- 50 Figur 10 eine Querschnittsansicht des Schaufelfußes der Figur 7 in einer Ebene senkrecht zur radialen Richtung in einer radialen Höhe, die

dem Anfang des ersten Teilabschnitts entspricht.

[0031] Die Figur 1 zeigt schematisch ein Turbofantriebwerk 100, das eine Fanstufe mit einem Fan 10 als Niederdruckverdichter, einen Mitteldruckverdichter 20, einen Hochdruckverdichter 30, eine Brennkammer 40, eine Hochdruckturbine 50, eine Mitteldruckturbine 60 und eine Niederdruckturbine 70 aufweist.

[0032] Der Mitteldruckverdichter 20 und der Hochdruckverdichter 30 weisen jeweils eine Mehrzahl von Verdichterstufen auf, die jeweils eine Rotorstufe und eine Statorstufe umfassen. Das Turbofantriebwerk 100 der Figur 1 weist des Weiteren drei separate Wellen auf, eine Niederdruckwelle 81, die die Niederdruckturbine 70 mit dem Fan 10 verbindet, eine Mitteldruckwelle 82, die die Mitteldruckturbine 60 mit dem Mitteldruckverdichter 20 verbindet und eine Hochdruckwelle 83, die die Hochdruckturbine 50 mit dem Hochdruckverdichter 30 verbindet. Dies ist jedoch lediglich beispielhaft zu verstehen. Wenn das Turbofantriebwerk beispielsweise keinen Mitteldruckverdichter und keine Mitteldruckturbine besitzt, sind nur eine Niederdruckwelle und eine Hochdruckwelle vorhanden.

[0033] Das Turbofantriebwerk 100 weist eine Triebwerksgondel 1 auf, die eine Einlaufflippe 14 umfasst und innenseitig einen Triebwerkseinlauf 11 ausbildet, der einströmende Luft dem Fan 10 zuführt. Der Fan 10 weist eine Mehrzahl von Fan-Schaufeln 101 auf, die mit einer Fan-Scheibe 102 verbunden sind. Der Annulus der Fan-Scheibe 102 bildet dabei die radial innere Begrenzung des Strömungspfads durch den Fan 10. Radial außen wird der Strömungspfad durch ein Fangehäuse 2 begrenzt. Stromaufwärts der Fan-Scheibe 102 ist ein Nasenkonus 103 angeordnet.

[0034] Hinter dem Fan 10 bildet das Turbofantriebwerk 100 einen Sekundärstromkanal 4 und einen Primärstromkanal 5 aus. Der Primärstromkanal 5 führt durch das Kerntriebwerk (Gasturbine), das den Mitteldruckverdichter 20, den Hochdruckverdichter 30, die Brennkammer 40, die Hochdruckturbine 50, die Mitteldruckturbine 60 und die Niederdruckturbine 70 umfasst. Dabei sind der Mitteldruckverdichter 20 und der Hochdruckverdichter 30 von einem Umfangsgehäuse 29 umgeben, dass innenseitig eine Ringraumfläche bildet, die den Primärstromkanal 5 radial außen begrenzt. Radial innen ist der Primärstromkanal 5 durch entsprechende Kranzoberflächen der Rotoren und Statoren der jeweiligen Verdichterstufen bzw. durch die Nabe oder mit der Nabe verbundene Elemente der entsprechenden Antriebswelle begrenzt.

[0035] Im Betrieb des Turbofantriebwerks 100 durchströmt ein Primärstrom den Primärstromkanal 5, der auch als Hauptströmungskanal bezeichnet wird. Der Sekundärstromkanal 4, auch als Nebenstromkanal oder Bypass-Kanal bezeichnet leitet im Betrieb des Turbofantriebwerks 100 vom Fan 10 angesaugte Luft am Kerntriebwerk vorbei.

[0036] Die beschriebenen Komponenten besitzen eine gemeinsame Rotations- bzw. Maschinenachse 90. Die Rotationsachse 90 definiert eine axiale Richtung des Turbofantriebwerks. Eine radiale Richtung des Turbofantriebwerks verläuft senkrecht zur axialen Richtung.

[0037] Im Kontext der vorliegenden Erfindung ist die Ausgestaltung der Turbinenschaufeln, insbesondere der Turbinenschaufeln der Hochdruckturbine 50 von Bedeutung. Die Prinzipien der vorliegenden Erfindung sind jedoch ebenso auf Turbinenschaufeln anderer Turbinenstufen anwendbar.

[0038] Die im Rahmen der Erfindung betrachteten Turbinenschaufeln sind Bestandteil einer Laufschaufelanordnung, die eine Turbinenscheibe und einen Turbinen-Laufschaufelkranz mit Turbinen-Laufschaufeln umfasst. Die Turbinen-Laufschaufeln werden im Rahmen dieser Beschreibung als Turbinenschaufeln bezeichnet. Zur Befestigung der Turbinenschaufeln in äquidistantem Abstand am Umfang der Turbinenscheibe weist die Turbinenscheibe an ihrem Umfang eine Mehrzahl von Schaufelfußaufnahmen auf, die jeweils dazu dienen, einen Schaufelfuß einer Laufschaufel aufzunehmen. Dabei kann vorgesehen sein, dass die Schaufelfüße als sogenannte "Tannenbaumfüße" ausgebildet sind. Die Schaufelfußaufnahmen sind in entsprechender Weise ausgebildet. Die Turbinenscheibe weist Kanäle auf, die dazu dienen, Kühlluft zur Kühlung der Turbinenschaufeln bereitzustellen.

[0039] Die Figur 2 zeigt anhand eines Ausführungsbeispiels ein Negativmodell einer Turbinenschaufel. Im Negativmodell sind die Aushöhlungen der Turbinenschaufel dargestellt. Diese bilden ein System 15 von Kühlluftkanälen, die der Kühlung der Turbinenschaufel dienen. Im dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst das System 15 von Kühlluftkanälen zwei Eingangs-Kühlluftkanäle 16, 17, die sich beide im Schaufelfuß der Turbinenschaufel erstrecken. Wie noch im Einzelnen erläutert wird, bilden die Eingangs-Kühlluftkanäle 16, 17 eine Ausbuchtung 7 aus, in der die Querschnittsfläche der Eingangs-Kühlluftkanäle 16, 17 ein Maximum aufweist.

[0040] In Strömungsrichtung hinter der Ausbuchtung 7 erstreckt sich der eine Eingangskanal 16 als Kühlluftkanal 161 benachbart der Vorderkante der Turbinenschaufel. Der andere Eingangskanal 17 bildet in Strömungsrichtung hinter der Ausbuchtung 7 einen Kühlluftkanal mit drei serpentinartigen Abschnitten 171, 172, 173 aus, die im Wesentlichen in radialer Richtung verlaufen und durch gekrümmte Bereiche miteinander verbunden sind. Von den Kühlluftkanälen gehen jeweils Kühlluftbohrungen 165, 175 aus, die der Kühlung der Turbinenschaufel dienen.

[0041] Weiter ist in der Figur 2 ein in der zugehörigen Turbinenscheibe ausgebildeter Kanal 18 zu erkennen, über den Kühlluft zugeführt wird. Zwischen der Turbinenscheibe und der Turbinenschaufel entweicht Kühlluft in einem sich in axialer Richtung erstreckenden Spalt 19.

[0042] Die Figur 2 ist lediglich beispielhaft zu verstehen. Die genaue Form und Anzahl der Kühlluftkanäle

und die Art der Kühlung sind für die vorliegende Erfindung nicht von Bedeutung. Es kann beispielsweise eine Filmkühlung und/oder eine Kühlung über Konvektion erfolgen. Von Bedeutung für die vorliegende Erfindung ist lediglich die in den Eingangs-Kühlluftkanälen 16, 17 ausgebildete Ausbuchtung 7. Auch wird darauf hingewiesen, dass die Kühlluftkanäle grundsätzlich eine beliebige Querschnittform aufweisen, beispielsweise kreisförmig, elliptisch oder rechteckig ausgeführt sein können.

[0043] Die Figuren 3 und 4 zeigen eine Turbinenschaufel 200, die ein System 15 von Kühlluftkanälen entsprechend der Figur 2 aufweist. Dies ist in den Figuren 3 und 4 durch eine transparente Darstellung der Turbinenschaufel angedeutet. Die Turbinenschaufel 200 ist in der Figur 3 in einer Ansicht von vorne, d. h. in einer Ansicht in axialer Richtung auf die Schaufelvorderkante dargestellt. Die Turbinenschaufel 200 ist in der Figur 4 in einer Seitenansicht auf die Druckseite dargestellt. Die Turbinenschaufel 200 umfasst einen Schaufelfuß 21 und ein Schaufelblatt 22. Der Schaufelfuß 21 ist dafür vorgesehen, in einer Schaufelfußaufnahme einer Turbinenschaufel angeordnet zu sein. Er weist beispielsweise ein Tannenbaumprofil 23 auf. Das Schaufelblatt 22 umfasst eine Saugseite 24, eine Druckseite 25, eine Vorderkante 26, eine Hinterkante 27, eine Blattspitze 28. Das Schaufelblatt 22 ragt in den Primärstromkanal des Turbofantriebwerks.

[0044] In den Figuren 3 und 4 geben x die axiale Richtung und r die radiale Richtung an. In einem zylindrischen Koordinatensystem verläuft die Umfangsrichtung φ senkrecht zu x und r . Die axiale Richtung x kann identisch mit der Maschinenachse einer Gasturbine, in der die Erfindung realisiert ist, sein, kann hiervon jedoch auch abweichen (beispielsweise wenn die Laufschaufeln unter einem Winkel zur Maschinenachse in die Schaufelfußaufnahmen gesteckt sind).

[0045] Die Eingangs-Kühlluftkanäle 16, 17 sowie die Kühlluftkanäle 161, 171, 172, 173 erstrecken sich im Wesentlichen in radialer Richtung. Die in der Figur 2 dargestellte und in der Figur 3 erkennbare Ausbuchtung 7 erstreckt sich in Richtung der Druckseite 25 der Turbinenschaufel 200.

[0046] Die Figur 5 zeigt in vergrößerter Darstellung in einer perspektivischen Ansicht schräg von vorne den Schaufelfuß 21, in dem die Eingangs-Kühlluftkanäle 16, 17 ausgebildet sind. Die Darstellung endet an einer Schnittfläche A, die eine Querschnittsfläche des Schaufelfußes 21 senkrecht zur radialen Richtung r bildet.

[0047] In den Figuren 6-10 wird die Formgebung des einen Eingangs-Kühlluftkanals 16 zum einen schematisch (Figur 6) und zum anderen anhand eines Ausführungsbeispiels (Figuren 7-10) beispielhaft erläutert. Die Ausführungen gelten in entsprechender Weise für den weiteren Eingangs-Kühlluftkanal 17 der Figuren 3-5, wobei es nicht zwingend ist, dass beide Eingangs-Kühlluftkanäle 16, 17 eine erfindungsgemäße Formgebung aufweisen. Auch wird darauf hingewiesen, dass die Turbinenschaufel 200 nicht notwendigerweise mehrere Ein-

gangs-Kühlluftkanäle 16, 17 aufweisen muss. In alternativen Ausgestaltungen der Erfindung ist lediglich ein Eingangs-Kühlluftkanal vorgesehen, der dann wie nachfolgend beschrieben ausgebildet ist.

[0048] Die Figur 6 ist eine dreidimensionale Darstellung eines Eingangs-Kühlluftkanals 16 (nachfolgend als Kühlluftkanal 16 bezeichnet). Der Kühlluftkanal 16 umfasst einen ersten, sich erweiternden Teilabschnitt 3, in dem sich die Querschnittsfläche des Kühlluftkanals 16 in Strömungsrichtung des Kühlmediums ausgehend von einer Querschnittsfläche A1 am Anfang des sich erweiternden Teilabschnitts 3 bis zu einem Maximum A3 vergrößert. An den ersten, sich erweiternden Teilabschnitt 3 schließt sich ein zweiter, sich verengender Teilabschnitt 6 an, in dem die Querschnittsfläche sich von der maximalen Querschnittsfläche A3 zu einer Querschnittsfläche A2 am Ende des sich verengenden Teilabschnitts 6 reduziert. Im ersten Teilabschnitt 3 wird die Wand dieses Teilabschnitts zur Druckseite 25 hin durch eine Wandkontur 31 und zur Saugseite 24 hin durch eine Wandkontur 32 gebildet. Im zweiten Teilabschnitt 6 wird die Wand dieses Teilabschnitts zur Druckseite 25 hin durch eine Wandkontur 61 und zur Saugseite 24 hin durch eine Wandkontur 62 gebildet.

[0049] Die sich verändernden Querschnitte des Kühlluftkanals 16 führen zu einer Verzögerung der Strömungsgeschwindigkeit des Kühlmediums im sich erweiternden Teilabschnitt 3 und zu einer Beschleunigung der Strömungsgeschwindigkeit des Kühlmediums im sich verjüngenden Teilabschnitt 6.

[0050] Der Kühlluftkanal 16 ist in den betrachteten Abschnitten 3, 6 des Weiteren derart geformt, dass das Kühlmedium in dem zweiten, sich verengenden Teilabschnitt 6 mit einer Richtungskomponente in Richtung der Saugseite der Turbinenschaufel beschleunigt wird. Durch diese Beschleunigung des Kühlmediums wird einer Beschleunigung des Kühlmediums aufgrund der Corioliskraft entgegengewirkt. Auf diese Weise erfolgt in einer betrachteten Querschnittsebene an allen Wandbereichen des Kühlluftkanals eine Homogenisierung des Wärmeübergangs.

[0051] Für eine Beschleunigung des Kühlmediums in Richtung der Saugseite bildet der Kühlluftkanal 16 zur Druckseite hin die Ausbuchtung 7 aus, wobei das Kühlmediums in dem ersten Teilbereich 3 in Richtung der Druckseite und in dem zweiten Teilbereich 6 in Richtung der Saugseite abgelenkt wird.

[0052] Die genaue Formgebung ist wie folgt. Die Querschnittsfläche A1 ist die Querschnittsfläche am Anfang des ersten Teilbereichs 3. Hiervon ausgehend vergrößert sich die Querschnittsfläche des Kühlluftkanals rotationssymmetrisch bezüglich seiner Mittellinie in Richtung der Druckseite. Der geometrische Verlauf des Kühlluftkanals 16 wird dabei über seine Mittellinie beschrieben, welche die Verbindungslinie aller geometrischen Mittelpunkte (d.h. Flächenschwerpunkte) der Querschnittsflächen des Kühlluftkanals darstellt. Eine für die Kühlluftströmung repräsentative Querschnittsfläche des

Kühlluftkanals 16 ist dabei so definiert, dass die Mittellinie des Kühlluftkanals 16 die Ebene der Querschnittsfläche stets senkrecht durchstößt. Mit anderen Worten entspricht also der Normalvektor einer solchen Querschnittsfläche dem Tangentenvektor an die Mittellinie im geometrischen Mittelpunkt (Flächenschwerpunkt) der jeweiligen Querschnittsfläche.

[0053] Dabei ist zu beachten, dass die Querschnittserweiterung rotations-symmetrisch oder alternativ rotations-asymmetrisch bezüglich der Mittellinie des Kühlluftkanals erfolgen kann. Im vorliegenden Beispiel führt die rotations-asymmetrische Kanalaufweitung, die mit einer Führung des Kühlluftkanals 16 zunächst in Richtung der Druckseite einhergeht, zu einer Vergrößerung des baulich realisierbaren Umlenk winkels δ im zweiten Teilbereich 6.

[0054] Der Grad der Divergenz des sich erweiternden Kühlluftkanals 16 sollte einen maximalen Grad an Divergenz nicht überschreitet. Ähnlich einer Öffnungswinkeldefinition für Diffusoren wird hier zweckmäßigerweise der maximale Zuwachs der Querschnittsfläche des Kühlluftkanals 16 im ersten Teilabschnitt 3 auf die Länge des Strömungsweges in Selbigen bezogen, so dass dieses Verhältnis den Grad an Divergenz im ersten Teilabschnitt 3 beschreibt. Dabei ist im Sinne der vorliegenden Erfindung diese maximale Verhältnis definiert als

$$\frac{(\sqrt[2]{A3-A1})}{s} \leq 6.$$

[0055] Hierin beschreibt die Größe s die Länge des Kühlluftkanals entlang seiner Mittellinie im ersten Teilabschnitt 3 und die bereits zuvor genannten Größen $A1$ und $A3$ die Querschnittsflächen des Kühlluftkanals 16 zu Beginn und respektive zum Ende des ersten Teilabschnitts 3. Das genannte Verhältnis liegt gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung zwischen 1,25 und 2.

[0056] Das Querschnittsflächenverhältnis $A3/A1$ liegt gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung im Bereich zwischen 1 und 5, beispielsweise zwischen 2 und 4.

[0057] Die Querschnittsfläche $A3$ am Übergang zwischen dem ersten Teilbereich 3 und dem zweiten Teilbereich 6 stellt die maximale Querschnittsfläche dar. Ausgehend von diesem Maximum verjüngt sich der Kühlluftkanal 16 in dem zweiten Teilbereich 6.

[0058] Die Konvergenz des Kühlluftkanals im zweiten Teilbereich 6 wird durch das Verhältnis $A3/A2$ definiert. Dabei ist vorgesehen, dass dieses Verhältnis kleiner ist als das Verhältnis $A3/A1$, mit anderen Worten $A1$ kleiner als $A2$ und $A2$ kleiner als $A3$ ist:

$$A1 < A2 < A3.$$

[0059] Die Form der Konvergenz im zweiten Teilbereich 6 wird unter anderem durch den Konvergenz- oder Umlenk Winkel δ bestimmt. Dieser Winkel δ ist definiert

als jener Winkel, der sich zwischen den beiden Vektoren $\overrightarrow{A3A1}$ und $\overrightarrow{A3A2}$ aufspannt. Beide Vektoren beschreiben jeweils die direkt Verbindungslinie zwischen den geometrischen Mittelpunkten (Flächenschwerpunkten) 310, 210 und 110 der Querschnittsflächen $A3$ und $A2$ bzw. $A3$ und $A1$. Die Definition gibt somit den mittleren Umlenk Winkel des Kühlluftkanals über beide Teilabschnitte 3, 6, in Richtung der Saugseite an.

[0060] Der Umlenk Winkel δ liegt bei maximal 175° . Er liegt beispielsweise im Bereich zwischen 110° und 170° , insbesondere im Bereich zwischen 140° und 170° .

[0061] Es wird darauf hingewiesen, dass die hier genannte Querschnittsfläche durch einen Normalenvektor definiert wird, der dem Tangentenvektor an die Mittellinie im geometrischen Mittelpunkt (Flächenschwerpunkt) der Querschnittsfläche entspricht.

[0062] Es wird weiter darauf hingewiesen, dass der erste, sich erweiternde Teilabschnitt 3 derart geformt ist, dass der Vektor $\overrightarrow{A1A3}$ bzw. die Mittellinie des Kühlluftkanals im ersten Teilabschnitt 3, die zumindest näherungsweise dem Vektor $\overrightarrow{A1A3}$ entspricht, aufgrund der Ausbuchtung 7, die sich in Richtung der Druckseite 25 erstreckt, zur Querschnittsfläche $A3$ hin eine Richtungskomponente in Richtung der Druckseite 25 aufweist und nicht exakt radial verläuft.

[0063] Die Figur 7 zeigt beispielhaft ein Ausführungsbeispiel eines Kühlluftkanals 16, der entsprechend der Figur 6 geformt und im Schaufelfuß 21 einer Turbinenschaufel 200 ausgebildet ist. Die Figuren 8, 9 und 10 zeigen Querschnitte senkrecht zur radialen Richtung des Schaufelfußes 21 in der Höhe des Querschnitts $A2$ (Figur 8), des Querschnitts $A3$ (Figur 9) und des Querschnitts $A1$ (Figur 10). Die Figur 7 zeigt den ersten divergierenden Teilabschnitt 3 mit den Wandkonturen 31, 32, den zweiten konvergierenden Wandabschnitt 6 mit den Wandkonturen 61, 62 sowie die drei Querschnittsflächen $A1$, $A3$, und $A2$. Die Ausbuchtung 7 erstreckt sich in Richtung der Druckseite 25.

[0064] Gemäß der Figur 10 ist der Kühlluftkanal 16 im Bereich der Querschnittsfläche $A1$ näherungsweise kreisförmig (rotations-symmetrisch bezüglich der Mittellinie) ausgebildet. Wandbereiche, die sich in Richtung der Druckseite oder Saugseite erstrecken, sind nicht vorgesehen. Gemäß der Figur 9 ist der Kühlluftkanal 16 im Bereich der Querschnittsfläche $A3$ nicht mehr kreisförmig (sondern rotations-asymmetrisch bezüglich der Mittellinie) ausgebildet. Vielmehr führen die wie beschrieben ausgeführten Wandbereiche 31, 32 gemäß der Figur 7 zu einer größeren Erstreckung in Umfangsrichtung (zwischen Druckseite und Saugseite) als in axialer Richtung. Gleiches gilt gemäß der Figur 8 für den Kühlluftkanal 16 im Bereich der Querschnittsfläche $A2$, wobei in der dargestellten Draufsicht von oben der schräg verlaufende Wandbereich 62 zu erkennen ist.

[0065] Die vorliegende Erfindung beschränkt sich in ihrer Ausgestaltung nicht auf die vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele. Beispielsweise kann alternativ vorgesehen sein, dass eine erfindungsgemäße

Ausbuchtung eines Kühlluftkanal nicht im Schaufelfuß ausgebildet ist, sondern an anderer Stelle im Kühlluftkanal, oder dass ein Kühlluftkanal mehrere solche Ausbuchtungen aufweist, beispielsweise eine Ausbuchtung im Schaufelfuß und eine weitere Ausbuchtung im weiteren Verlauf des Kühlluftkanals.

[0066] Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass die Merkmale der einzelnen beschriebenen Ausführungsbeispiele der Erfindung in verschiedenen Kombinationen miteinander kombiniert werden können. Sofern Bereiche definiert sind, so umfassen diese sämtliche Werte innerhalb dieser Bereiche sowie sämtliche Teilbereiche, die in einen Bereich fallen.

Patentansprüche

1. Turbinenschaufel (200) eines Turbinen-Laufschau-
felkranzes, die aufweist:

- eine Saugseite (24),
- eine Druckseite (25), und
- einen Kühlluftkanal (16), durch den ein K hl-
medium zum Kühlen der Turbinenschaufel
(200) transportierbar ist,
- wobei der Kühlluftkanal (16) in mindestens ein-
em Abschnitt einen Verlauf derart aufweist,
dass
- seine Querschnittsfläche sich in Strömungs-
richtung des Kühlmediums in einem ersten, sich
erweiternden Teilabschnitt (3) bis zu einem Ma-
ximum vergrößert,
- seine Querschnittsfläche sich in einem zwei-
ten, sich verengenden Teilabschnitt (6) hinter
dem Maximum reduziert, und
- das Kühlmedium in dem zweiten, sich veren-
genden Teilabschnitt (6) mit einer Richtungs-
komponente in Richtung der Saugseite (24) der
Turbinenschaufel (200) beschleunigt wird,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Kühlluftkanal (16) im Bereich des Maxi-
mums eine Ausbuchtung (7) in Richtung der Druck-
seite (25) bildet, wobei das Kühlmedium in dem ers-
ten Teilabschnitt (3) in Richtung der Druckseite (25)
und in dem zweiten Teilabschnitt (6) in Richtung der
Saugseite (24) abgelenkt wird.

2. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, **dadurch ge-
kennzeichnet, dass** der Kühlluftkanal (16) am An-
fang des sich erweiternden Teilabschnitts (3) eine
erste Querschnittsfläche A1, am Ende des sich veren-
genden Teilabschnitts (6) eine zweite Quer-
schnittsfl che A2 und am Maximum der Quer-
schnittsfl che eine dritte Querschnittsfläche A3 auf-
weist.

3. Turbinenschaufel nach Anspruch 2, **dadurch ge-**

kennzeichnet, dass für das Verhältnis von erster
Querschnittsfläche A1 und dritter Querschnittsfl -
che A3 gilt:

$$1 < A3/A1 \leq 5.$$

4. Turbinenschaufel nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch
gekennzeichnet, dass** für das Verhältnis von erster
Querschnittsfläche A1, zweiter Querschnittsfläche
A2, und dritter Querschnittsfläche A3, gilt:

$$A1 < A2 < A3.$$

5. Turbinenschaufel nach einem der vorangehenden
Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der
Kühlluftkanal (16) im sich erweiternden Teilabschnitt
(3) einen maximalen Grad an Divergenz nicht über-
schreitet, wobei der Grad der Divergenz durch die
Quadratwurzel des Zuwachses der Querschnittsfl -
che (A3 - A1) bezogen auf die Länge (s) des K hl-
luftkanals entlang seiner Mittellinie definiert ist und
der so definierte Grad an Divergenz kleinergleich 6
ist, also

$$\frac{(\sqrt{A3-A1})}{s} \leq 6.$$

gilt.

6. Turbinenschaufel nach Anspruch 5, **dadurch ge-
kennzeichnet, dass** der Grad der Divergenz im sich
erweiternden Teilabschnitt (3) des Kühlluftkanals
(16) zwischen 1,25 und 2 liegt, also

$$1.25 < \frac{(\sqrt{A3-A1})}{s} \leq 2$$

gilt.

7. Turbinenschaufel nach einem der vorangehenden
Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die
Querschnittserweiterung des Kühlluftkanals (16) be-
züglich seiner Mittellinie rotations-asymmetrisch ist.

8. Turbinenschaufel nach einem der vorangehenden
Ansprüche, soweit rückbezogen auf Anspruch 2, **da-
durch gekennzeichnet, dass** der Kühlluftkanal (16)
im sich verengenden Teilabschnitt (6) einen Umlenk-
winkel (δ) aufweist, der kleiner als 175  ist, wobei δ
als jener Winkel definiert ist, der sich zwischen den
beiden Vektoren $\vec{A3A1}$ und $\vec{A3A2}$ aufspannt, wobei
die beiden Vektoren jeweils die direkte Verbindungs-
linie zwischen den geometrischen Mittelpunkten
(310, 210, 110) der Querschnittsflächen A3 und A2

bzw. A3 und A1 beschreiben.

ponente in Richtung der Saugseite (24) erfährt.

9. Turbinenschaufel nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Umlenkwinkel (δ) zwischen 140° und 170° liegt. 5

10. Turbinenschaufel nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Beschleunigung des Kühlmediums in dem zweiten, sich verengenden Teilabschnitt (6) in Richtung der Saugseite (24) der Turbinenschaufel (100) die Mittellinie des Kühlluftkanals (16) in dem zweiten, sich verengenden Teilabschnitt (6) eine Richtungskomponente in Richtung der Saugseite (24) aufweist. 10
15

11. Turbinenschaufel nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Turbinenschaufel (200) einen Schaufelfuß (21) aufweist, wobei der erste sich erweiternde Teilabschnitt (3) und der zweite sich verengenden Teilabschnitt (6) in einem Abschnitt des Kühlluftkanals (16) ausgebildet sind, der im Schaufelfuß (21) angeordnet ist. 20

12. Turbinenschaufel nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Querschnittsfläche des zweiten, sich verengenden Teilabschnitts (6) hinter dem Maximum sukzessive und ohne einen Sprung abnimmt. 25

13. Turbinenschaufel nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittellinie des Kühlluftkanals (16) im ersten Teilabschnitt (3) eine Richtungskomponente in Richtung der Druckseite (25) der Turbinenschaufel aufweist. 30
35

14. Turbinenschaufel nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Divergenz im ersten Teilabschnitt (3) in Richtung der Druckseite (25) der Schaufel größer ist als die Divergenz in Richtung der Saugseite (24) der Schaufel. 40

15. Verfahren zum Transportieren eines Kühlmediums in einer Turbinenschaufel (200) eines Turbinen-Laufschaukelkranzes, wobei die Turbinenscheibe (200) eine Saugseite (24), eine Druckseite (25) und einen Kühlluftkanal (16) umfasst, durch den ein Kühlmedium zum Kühlen der Turbinenschaufel (200) transportierbar ist, wobei das Kühlmedium in einem ersten Teilabschnitt (3) des Kühlluftkanals (16) verzögert und anschließend in einem sich daran anschließenden zweiten Teilabschnitt (6) mit einer Richtungskomponente in Richtung der Saugseite (24) der Turbinenschaufel (200) beschleunigt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kühlmedium derart geführt wird, dass es in dem ersten Teilabschnitt (3) zunächst eine Richtungskomponente in Richtung der Druckseite (25) und im zweiten Teilabschnitt (6) eine Richtungskom- 45
50
55

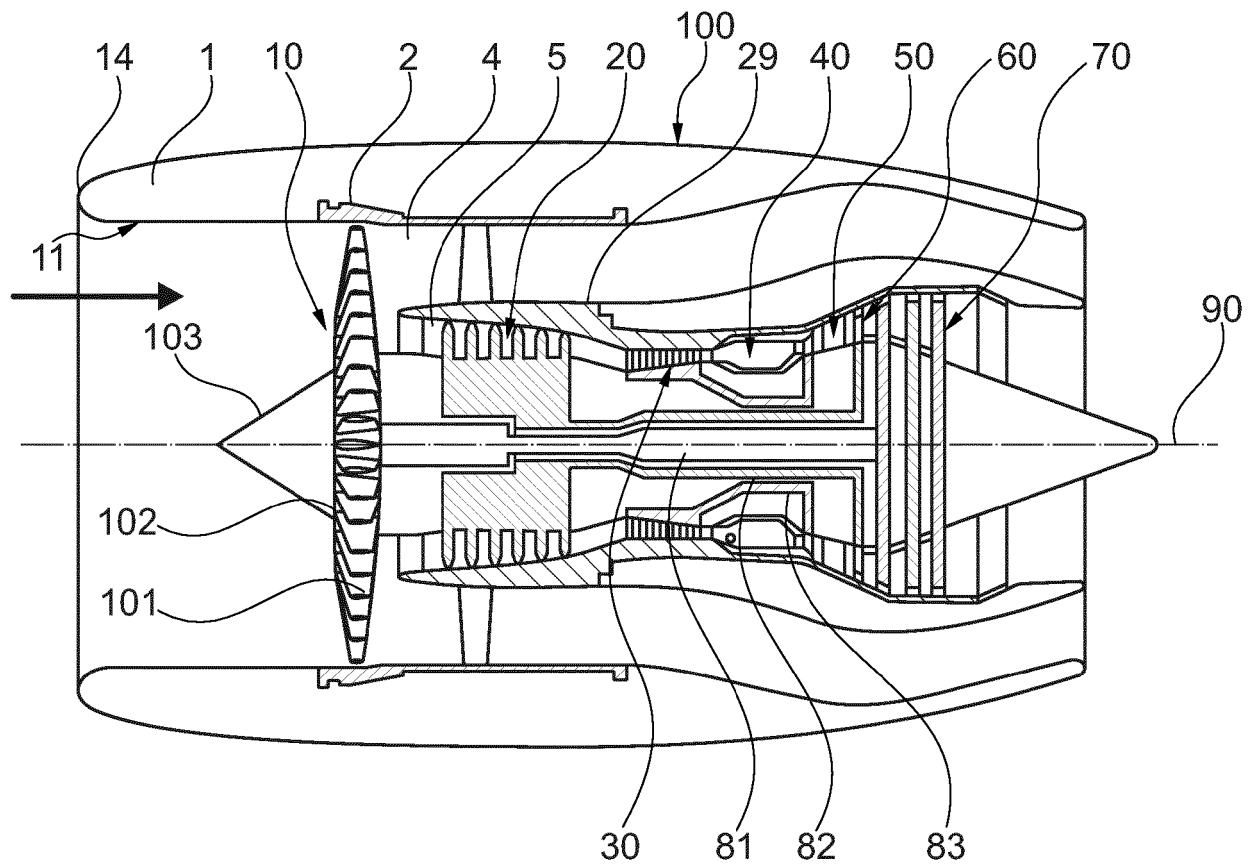


Fig. 1

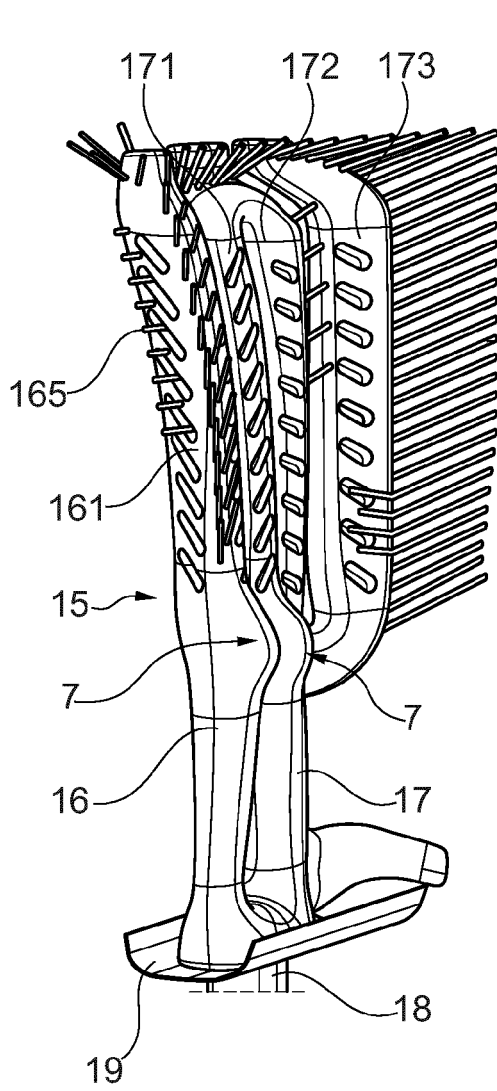


Fig. 2

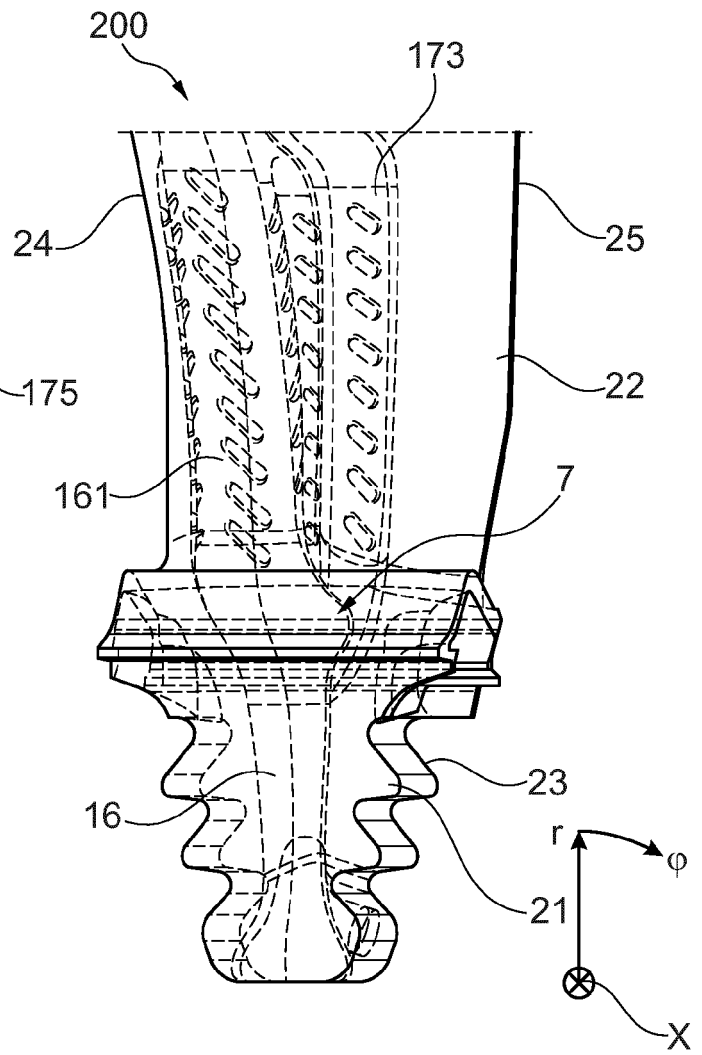


Fig. 3

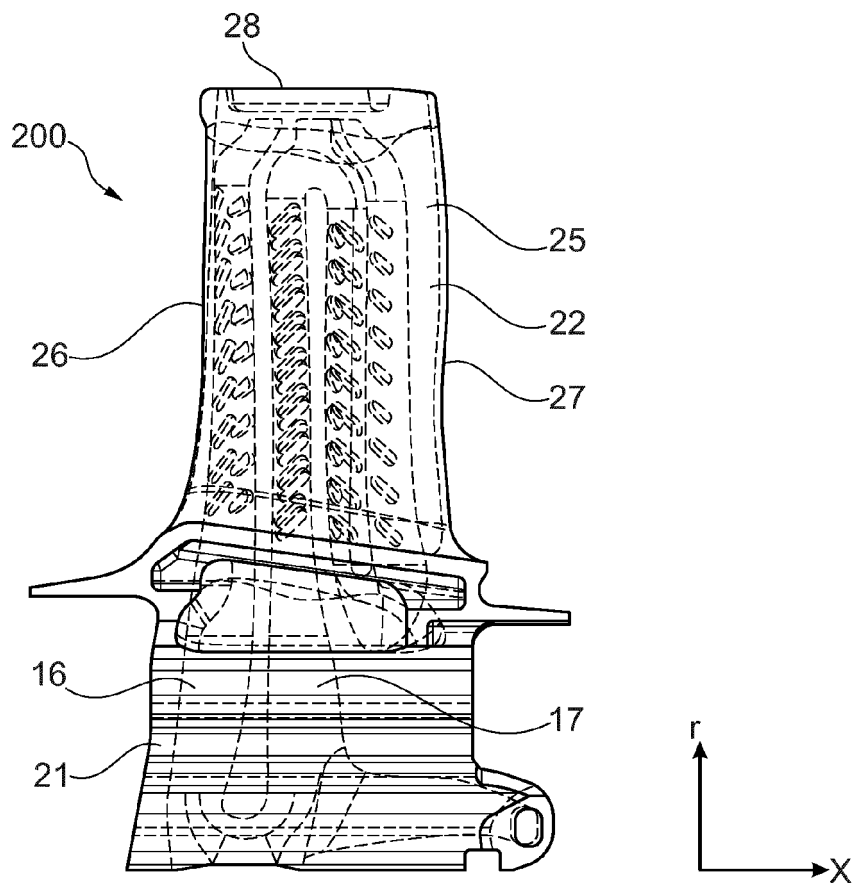


Fig. 4

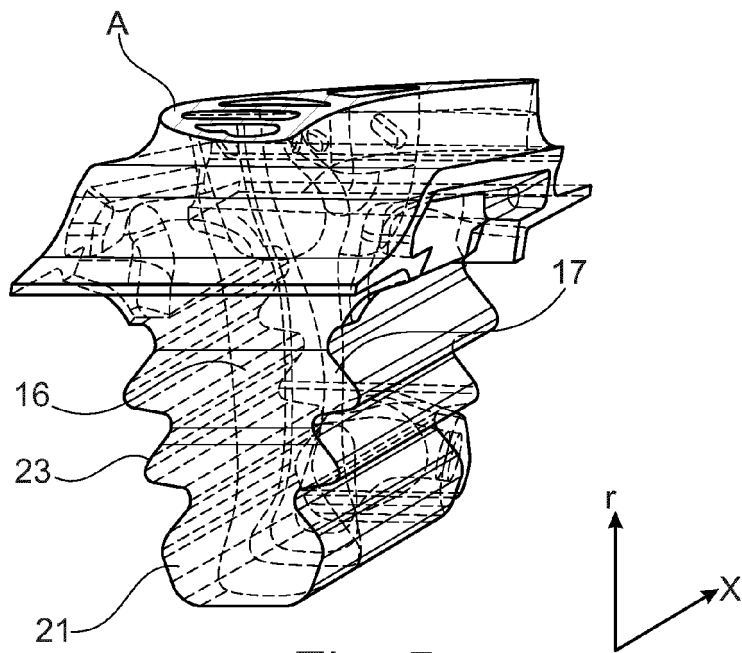


Fig. 5

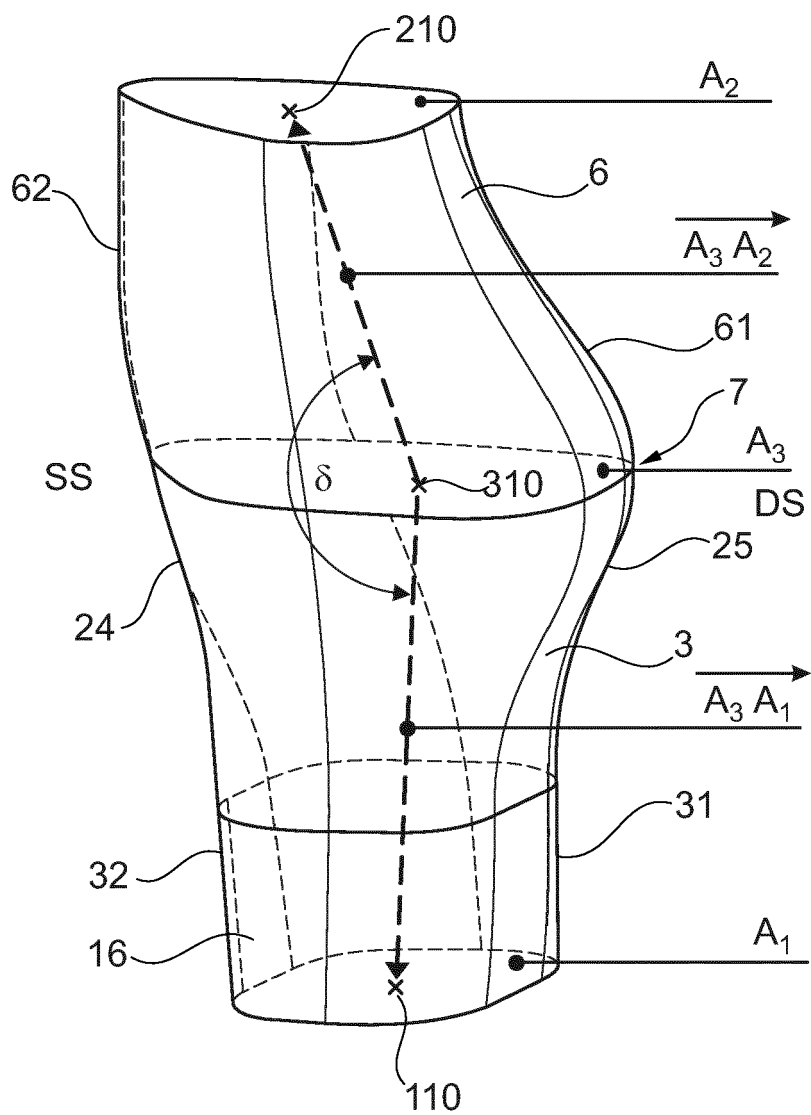


Fig. 6

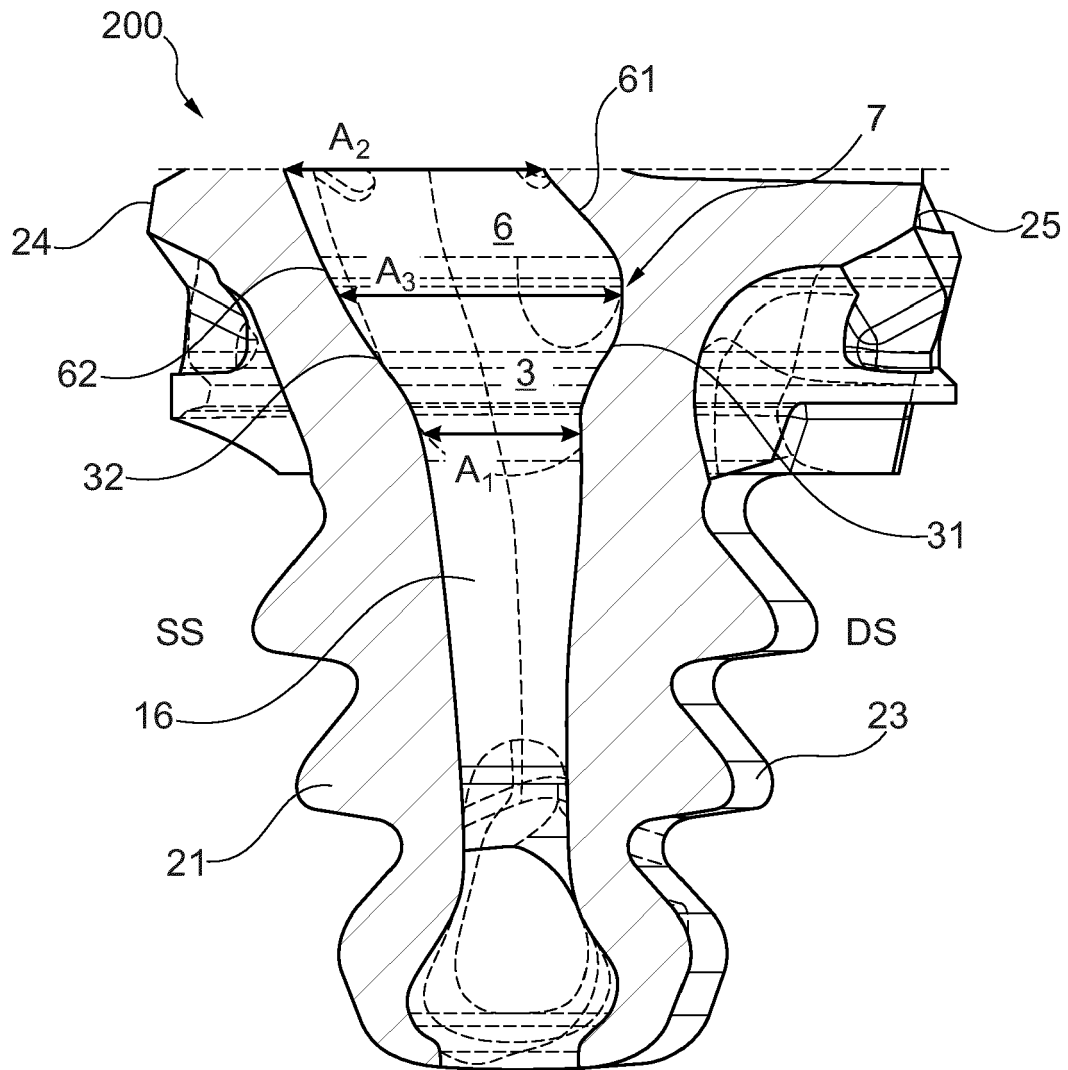
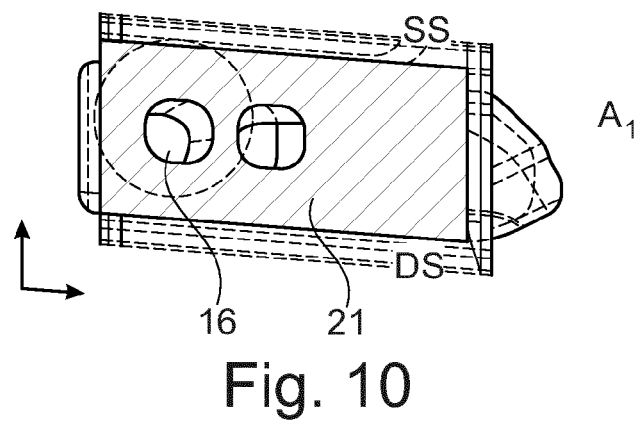
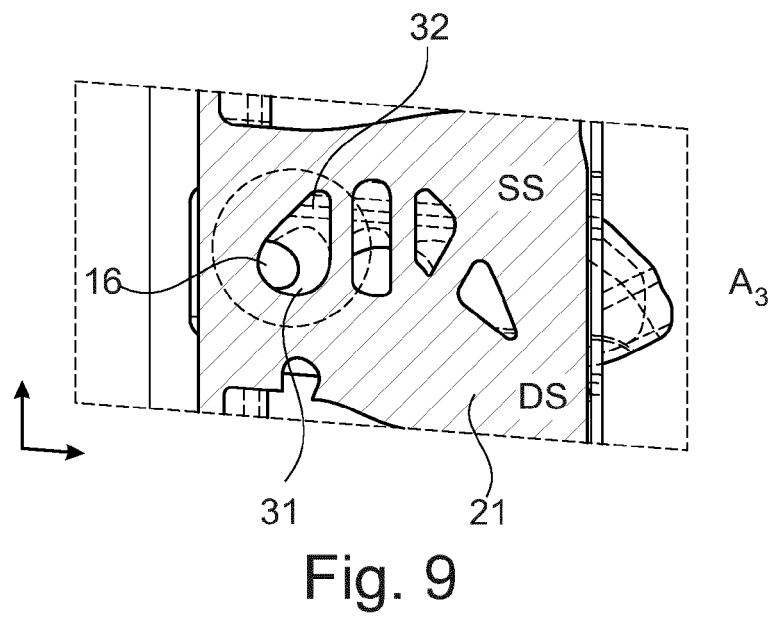
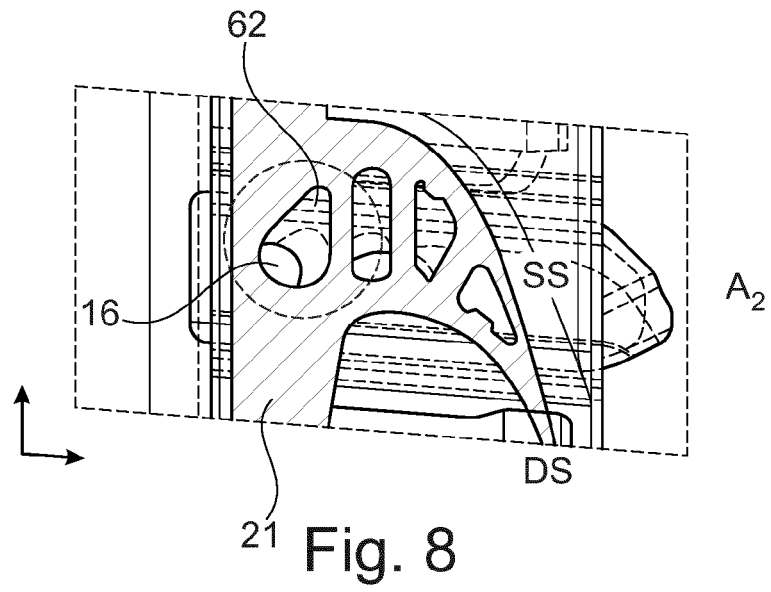


Fig. 7





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 18 20 4562

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 1 688 587 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 9. August 2006 (2006-08-09) * Absätze [0047], [0048]; Abbildung 2 *	1-15	INV. F01D5/14 F01D5/18 F01D5/08
X	US 2007/020100 A1 (BEECK ALEXANDER R [US] ET AL) 25. Januar 2007 (2007-01-25) * Absätze [0050], [0051]; Abbildungen 7,8 *	1,2,15	
X	US 2010/290920 A1 (LIANG GEORGE [US]) 18. November 2010 (2010-11-18) * Absätze [0040] - [0044]; Abbildung 3 *	1,2,7,15	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 13. März 2019	Prüfer Avramidis, Pavlos
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 18 20 4562

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

13-03-2019

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1688587 A2	09-08-2006	EP 1688587 A2	09-08-2006
		US 2006153681 A1	13-07-2006
US 2007020100 A1	25-01-2007	CN 101233298 A	30-07-2008
		EP 1907669 A1	09-04-2008
		JP 4879267 B2	22-02-2012
		JP 2009503331 A	29-01-2009
		US 2007020100 A1	25-01-2007
		WO 2007012590 A1	01-02-2007
US 2010290920 A1	18-11-2010	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82