

(19)



(11)

EP 3 473 808 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
24.04.2019 Patentblatt 2019/17

(51) Int Cl.:
F01D 5/20 (2006.01) **F01D 11/10** (2006.01)
F01D 11/08 (2006.01) **F01D 5/18** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **17197244.1**

(22) Anmeldetag: **19.10.2017**

(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:
MA MD

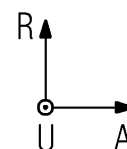
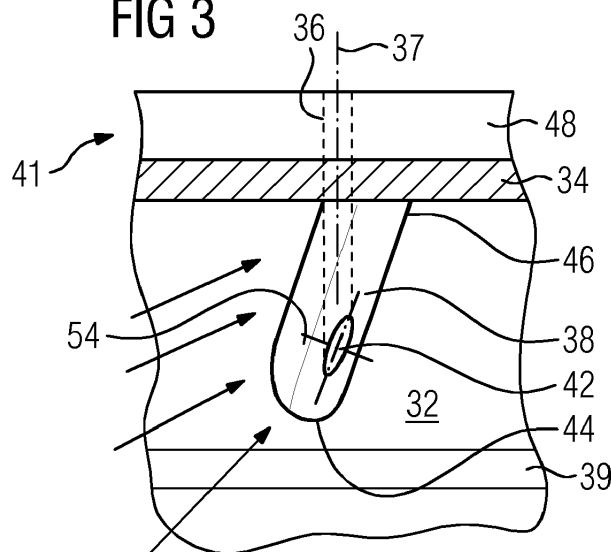
(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder: **Buchal, Tobias**
40489 Düsseldorf (DE)

(54) **SCHAUFELBLATT FÜR EINE INNENGEKÜHLTE TURBINENLAUSCHAUFEL SOWIE VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER SOLCHEN**

(57) Die Erfindung betrifft ein Schaufelblatt 16 für eine innengekühlte Turbinenlaufschaufel 10. Umfassend eine saugseitige Seitenwand 22 und eine druckseitige Seitenwand 24, die sich von einer gemeinsamen Vorderkante 18 zu einer gemeinsamen Hinterkante 20 und in einer Spannweiterichtung von einem fußseitigen Ende 26 zu einem kopfseitigen Ende 27 erstreckend einen Hohlraum zumindest teilweise umschließen, wobei das kopfseitige Ende 27 eine den Hohlraum 32 kopfseitig begrenzende Spitzenwand 34 umfasst, in welcher zumindest ein Kühlloch 36, vorzugsweise mehre Kühllöcher 36 zum Ausleiten von im Inneren strömbarem Kühlfluid vorgesehen ist bzw. sind. Um eine Turbinenschaufel bereit-

zustellen, bei der die Gefahr von Verstopfungen von Kühlöffnungen verringert ist und somit die Standzeit der Turbinenschaufel verlängert sein kann, wird vorgeschlagen, dass im Hohlraum zumindest eine sich von der Spitzenwand 34 aus in Richtung des fußseitigen Endes 42 erstreckende Rippe vorzugsweise mehrere derartige Rippen 38, von der diese Rippe umgebenden Innenflächen 40 der saugseitigen Seitenwand 22 und/oder der Innenfläche 40 der druckseitigen Seitenwand 24 hervorstecht und dass ein - bezogen auf das Kühlfluid - einströmseitiges Ende 42 des zumindest einen Kühllochs 36 in der betreffenden Rippe 38 seitlich mündet.

FIG 3**EP 3 473 808 A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Schaufelblatt für eine innengekühlte Turbinenlaufschaufel gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Weiter betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines Schaufelblatts.

[0002] Turbinenschaufeln und deren Schaufelblätter sind aus dem umfangreich vorhandenen Stand der Technik längstens bekannt. Damit die Turbinenschaufeln den im Betrieb auftretenden hohen Temperaturen dauerhaft Stand halten können, sind diese kühlbar ausgestaltet. Sie weisen dazu im Inneren einen Hohlraum auf, der während des Betriebs von einem Kühlmittel, zumeist Kühlluft, durchströmt werden kann. Nach Durchströmen der Turbinenschaufel und insbesondere dessen Schaufelblatt wird die beim Durchströmen aufgeheizte Kühlluft in das Arbeitsfluid der Gasturbine ausgeblasen und diesem untergemischt. Sofern es sich bei dem Kühlfliuid um Kühlluft handelt, wird dieses dem zur Gasturbine zugehörigen Verdichter entnommen. Trotz umfangreicher Maßnahmen zur Reinhaltung der Verdichterluft und auch insbesondere der Kühlluft kann diese weiterhin Staub- und Schmutzpartikel enthalten, die sich beim Durchströmen des Verdichters und auch beim Durchströmen der Turbinenschaufel darin ablagern können.

[0003] Aus diesem Grunde sind moderne Konstruktionen von Turbinenschaufeln unter anderem auch darauf ausgelegt, Ablagerungen derartiger Staubpartikel an denjenigen Öffnungen zu vermeiden, durch welche die im Betrieb aufgeheizte Kühlluft ausgeblasen werden soll. Verstopfungen derartiger Kühlluftauslässe können dazu führen, dass die Kühlwirkung an dieser Stelle nur vermindert, wenn überhaupt eintritt. In diesem Fall werden dort die zulässigen Materialtemperaturen überschritten, so dass folglich sich die Materialeigenschaften an der überhitzten Stelle ändern. Dies ermöglicht die Bildung von lokalen Korrosionserscheinungen und Folgebeschädigungen, die schlimmstenfalls zu Bauteilversagen führen können.

[0004] Um dies zu verhindern ist es beispielsweise aus der EP 1 793 086 A2 bekannt, im Inneren der Kühlluftkanäle von Turbinenschaufeln Leitelemente vorzusehen, mit denen die in der Kühlluft mitgeführten Partikel umgelenkt werden. Dies verringert das Einstromen der Partikel in die Kühlluftauslässe.

[0005] Gemäß einer alternativen Ausgestaltung, bekannt aus der EP 0 965 728 A2, können auch speziell geformte Einläufe für Kühlluftöffnungen verwendet werden. Hierbei wird durch eine Ovalisierung des Einlaufbereichs des Kühlluftlochs erreicht, dass ein mitgeführtes Partikel nicht in das Loch eindringen kann.

[0006] Nachteilig ist, dass derartige Locheinläufe sich auf der Innenseite von üblicherweise im Feingussverfahren hergestellten Schaufeln nicht durch Bohren, sondern nur durch Gießen herstellen lassen. Aufgrund des Rückgriffs auf das Feingussverfahren weisen die Kühlluftlöcher jedoch dann einen vergleichsweise großen Durchmesser von mindestens etwa 2mm auf, was den Kühl-

luftverbrauch ungewünscht erhöht. Kleinere Durchmesser lassen sich nicht mit hinreichender Genauigkeit herstellen.

[0007] Darüber hinaus ist es bekannt, an den Schaufelspitzen von Turbinenlaufschaufeln sogenannte Staublöcher anzuordnen. Diese Löcher sind im Spitzenbereich meist mittig zwischen Saug- und Druckseite angeordnet und von vergleichsweise großen Durchmesser. Dann besteht freilich nur eine sehr geringe Verstopfungsgefahr, allerdings erhöht sich durch diese der Kühlluftverbrauch. Ist deren Durchmesser dagegen reduziert, beispielsweise um Kühlluft einzusparen, so droht die Verstopfung mit den besagten Nachteilen.

[0008] Aufgabe der Erfindung ist daher die Bereitstellung eines Schaufelblatts für eine innengekühlte Turbinenlaufschaufel, deren Kühllöcher eine geringere Neigung zur Verschmutzung von in der Kühlluft mitgeführten Partikeln aufweist. Weitere Aufgabe der Erfindung ist die Angabe eines Verfahrens, mittels dem sich erfindungsgemäße Schaufelblätter einfach und mit vergrößerter Zuverlässigkeit als bisher herstellen lassen.

[0009] Diese erstgenannte Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Schaufelblatt nach Anspruch 1 gelöst und die zweitgenannte Aufgabe durch ein Herstellverfahren gemäß Anspruch 11.

[0010] Vorteilhafte Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind jeweils Gegenstand abhängiger Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0011] Die vorliegende Erfindung schlägt vor, dass bei einem Schaufelblatt für eine innengekühlte Turbinenlaufschaufel, umfassend eine saugseitige Seitenwand und eine druckseitige Seitenwand, die von einer gemeinsamen Vorderkante zu einer gemeinsamen Hinterkante und in einer Spannweiterichtung von einem fußseitigen Ende zu einem kopfseitigen Ende sich erstreckend einen Hohlraum zumindest teilweise umschließen, wobei das kopfseitige Ende eine den Hohlraum kopfseitig begrenzende Spitzenwand umfasst, in welcher zumindest ein Kühlloch, vorzugsweise mehrere Kühllöcher zum Ausleiten von im Inneren strömbaren Kühlfliuid vorgesehen ist bzw. sind, im Hohlraum zumindest eine sich von der Spitzenwand aus in Richtung des fußseitigen Endes erstreckende Rippe, vorzugsweise mehrere derartige Rippen, von der diese Rippe umgebenden Innenfläche der saugseitigen Seitenwand bzw. von der diese Rippe umgebenden Innenfläche der druckseitigen Seitenwand hervorsticht bzw. hervorstehen und dass eine - bezogen auf das Kühlfliuid - Einstromöffnung des zumindest einen Kühllochs in der betreffenden Rippe seitlich mündet.

[0012] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass das seitliche Anordnen der Einstromöffnung des Kühlloches in einer von der Innenfläche der Seitenwand hervorstehenden Rippe das Einstromen von in der Kühlluft mitgeführten Partikeln signifikant erschwert. Aufgrund des erschwerten Einstromens von Partikeln in das Kühlloch sinkt die Gefahr einer Verstopfung, was die Standzeit des Schaufelblatts und einer damit ausgestat-

teten Turbinenlaufschaukel erhöhen kann.

[0013] Bevorzugt lässt sich die seitliche Anordnung der Einströmöffnung in der Rippe bei geradlinig ausgeführten Kühlöchern realisieren, wenn eine Kanalachse des Kühllochs gegenüber der Längsrichtung der Rippe zwischen kopfseitigem und fußseitigem Ende geneigt angeordnet ist. Hierbei ist es unerheblich, ob das Kühlloch oder die Rippe streng radial ausgerichtet ist. Alternativ und oder ergänzend zur relativen Neigung zwischen Kühlloch und Rippe lässt sich die seitlich Anordnung realisieren, wenn das Kühlloch längs seiner Kanalachse nicht geradlinig, sondern gekrümmt ausgestaltet ist. Dann ist es ausreichend, wenn das Kühlloch im Bereich der Einströmöffnung - also unmittelbar stromab davon - gegenüber der lokalen Längserstreckung der Rippe geneigt ist. Derartige gekrümmte Kühlöcher lassen sich durch Erodieren einfach herstellen. Die Orientierung der Rippe ist hierbei von untergeordneter Relevanz. In beiden Fällen ergibt sich ein schleifender bzw. schiefer Schnitt unter Bildung einer ellipsenförmigen Einströmöffnung.

[0014] Besonders bevorzugt weist die Einströmöffnung eine Ellipsenform mit einer kleineren Achse und einer größeren Achse auf, wobei die kleinere Achse kleiner ist als der Durchmesser des restlichen Kühllochs. Eine derartige Einströmöffnung lässt sich in dem Schaufelblatt bzw. in der Turbinenschaufel durch Erodieren oder durch Laserbohren herstellen. Aufgrund der weiter verkleinerten Größe der Einströmöffnung gelangen Partikel, die dem Durchmesser des restlichen Kühllochs sehr ähnlich oder größer sind, nicht in das Kühlloch. Es gelangen nur solche darein, die derartig klein sind, dass sie ohne darin anzuhaften mit dem Kühlfluid wieder ausge tragen werden. Dies verringert die Gefahr einer Verstopfung des Kühllochs.

[0015] Gemäß einer weiteren besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist die betreffende Rippe in einer zur Spannweiterichtung normalen Querschnittsebene eine gewölbte Kontur mit einer - bezogen auf die restliche Innenfläche - maximalen Rippenhöhe H auf, wobei das einströmseitige Ende des betreffenden Kühllochs seitlich des Ortes der maximalen Rippenhöhe angeordnet ist. Alternativ zur ersten bevorzugten Ausgestaltung kann die Rippe anstelle der gewölbten Kontur auch eine eckige, beispielsweise dreieckige oder rechteckige Kontur aufweisen. Insbesondere in Verbindung mit der gewölbten Rippenkontur kann durch Bohren des Kühllochs eine Kontur für die Einströmöffnung erreicht werden, welche einer angestellten Ellipse gleicht. In Abhängigkeit von der tatsächlichen Orientierung des gebohrten Kühllochs und der Radial- und Axialerstreckung der Rippe sowie deren Querschnittskontur ist die längere Achse der Ellipse parallel oder spitzwinklig zur Innenfläche der betreffenden Seitenwand, jedoch in der Rippenoberfläche angeordnet. Aufgrund der elliptischen Einlaufkontur der Einströmöffnung kann unter Erreichung eines vergleichsweise großen Einströmquerschnitts ein vergleichsweise enger Einlassschlitz bereitgestellt werden,

dessen kürzere Achse kleiner gewählt ist als der Durchmesser von typischerweise in der Kühlluft mitgeführten Partikeln. Die Gefahr einer Verstopfung kann mithin verringert werden.

[0016] Weiter bevorzugt ist die betreffende Rippe ausgehend von ihrem kopfseitigen Ende zu ihrem fußseitig angeordneten Ende in Richtung zur Vorderkante oder in Richtung zur Hinterkante geneigt. Zwar erstreckt sich die betreffende Rippe vorzugsweise geradlinig von ihrem kopfseitigen Ende zu ihrem fußseitigen Ende, jedoch weist die Längserstreckung der Rippe gegenüber Spannweiterichtung einen Winkel größer 0°, beispielsweise 25° auf. Durch die angestellte bzw. schräge Anordnung kann insbesondere das Problem der exakten axialen Positionierung des zu bohrenden Kühlloches bezüglich der Rippe reduziert werden. Sollte es aufgrund von herstellungsbedingten Gusstoleranzen zu einem axialen Versatz der Rippe kommen, so verlängert oder verkürzt sich zwar die in Spannweite zu erfassende Länge des gebohrten Kühllochs. Dagegen bleibt aber dessen Eintrittsgeometrie, d.h. die Ellipsenform und auch die seitliche Lage der Einströmöffnung erhalten, was die Neigung zur Verstopfung des Kühlloches weiterhin gering hält. Mithin lässt sich mit dem genannten Merkmal trotz herstellungsbedingter Toleranzen des gegossenen Schaufelblattes ein größerer Bereich angeben, in dem das Kühlloch so gebohrt werden kann, dass es weiterhin in der Rippe seitlich mündet.

[0017] Darüber hinaus ist es von Vorteil, wenn der an die betreffende Rippe angrenzende Hohlraum dergestalt ist, dass dessen wesentliche Kühlmittelzufuhr auf derjenigen Seite der betreffenden Rippe angeordnet ist, welcher der das einströmseitige Ende des Kühllochs aufweisenden Oberfläche der Rippe abgewandt ist. Mit anderen Worten: der betreffende Teilhohlraum des Schaufelblattes, in dem die betreffende Rippe angeordnet ist, wird an einer bestimmten Position mit Kühlmittel gespeist. Die betreffende Rippe befindet sich stromab dieser bestimmten Position der Kühlmittelzufuhr, wobei das einströmseitige Ende des Kühlloches auf derjenigen Seite der Rippe angeordnet ist, die der ankommenden Kühlluftströmung gegenüberliegt; die Einströmöffnung ist im Lee der betreffenden Rippe angeordnet. In Verbindung mit der Tatsache, dass das einströmseitige Ende des betreffenden Kühllochs stromab der maximalen Erhebung der Rippe angeordnet ist, befindet sich das einströmseitige Ende im Windschatten. In dem Kühlmittel mitgeführte Partikel strömen somit entlang der Innenfläche der betreffenden Seitenwand zur Rippe, werden von dieser abgehoben und strömen dann aufgrund ihrer Massenträgheit zwangsweise über die Einströmöffnung des Kühllochs hinweg, ohne die Möglichkeit zu besitzen, in dieses einzutreten. Diese Ausgestaltung reduziert signifikant die Wahrscheinlichkeit der Verstopfung von Kühlöchern.

[0018] Gemäß einer besonders bevorzugten Ausgestaltung ist an der nach außen weisenden Fläche der Spitzenwand zumindest eine Dichtspitze angeordnet, wobei weiter bevorzugt das betreffende Kühlloch sich

zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig durch die besagte Dichtspitze erstreckt.

[0019] Mit dieser Ausgestaltung lassen sich Dichtspitzen bereitstellen, die trotz ihrer vergleichsweise geringen Wandstärke innenkühlbar sind. Die Wandstärken derartiger Dichtspitzen können eine Größe von ungefähr 2 mm aufweisen, wobei die Kühllöcher einen Durchmesser von 1,0 mm und kleiner aufweisen können.

[0020] Insgesamt werden mit der Erfindung folgende Ziele erreicht:

Durch Aufbringen von schräg, axial und/oder radial auslaufenden Rippen auf den seitlichen Innenwänden der Schaufelblätter und durch die einfachere Positionierung der Kühllöcher zur Kühlung des Spitzenbereiches des Schaufelblatts in diesem kann erreicht werden, dass die Einströmöffnung der Kühllöcher auf der Innenseite eine sowohl radial als auch axial angestellte Ellipse bildet. Durch Fertigen des Kühllochs mittels Laserbohren oder Erodieren kann ferner der projizierte Durchmesser des Kühllochs im Einströmbereich kleiner gehalten werden als stromab davon oder im Auslaufbereich. Auf diese Weise lässt sich die Länge der kürzeren Achse der Ellipse verringern, verglichen mit dem Durchmesser eines runden Kühllochs. Durch die Anordnung einer vorwiegend in axialer Richtung erstreckenden Rippe auf der Innenseite der Schaufelwand radial mit Kühlloch kann erreicht werden, dass für vorwiegend durch die Fliehkraft getriebene, sich radial bewegend Partikel ebenso eine Sprungschance vorhanden ist, die sie über die Einströmöffnung springen lässt, aber nicht darein.

[0021] Es versteht sich von selbst, dass die erfindungsgemäßen Paare von Rippe und Kühlloch an beiden Seitenwänden des Schaufelblatts angewendet werden können. Ebenso selbstverständlich ist es derartige Schaufelblätter bzw. Turbinenschaufeln durch additive Verfahren, beispielsweise selektives Laserschmelzen oder dergleichen, herzustellen.

[0022] Auch wenn in der Beschreibung bzw. in den Patentansprüchen einige Begriffe jeweils im Singular oder in Verbindung mit einem Zahlwort verwendet werden, so soll der Umfang der Erfindung für diese Begriffe nicht auf den Singular oder das jeweilige Zahlwort eingeschränkt sein. Ferner sind die Wörter "ein" bzw. "eine" nicht als Zahlwörter, sondern als unbestimmte Artikel zu verstehen.

[0023] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile der Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert.

[0024] Hierbei sind die Figuren lediglich schematisch dargestellt, wodurch insbesondere keine Einschränkung der Ausführbarkeit der Erfindung die Folge ist.

[0025] Es zeigen:

- Figur 1 eine Turbinenlaufschaufel in einer perspektivischen schematischen Darstellung,
- 5 Figur 2 den Längsschnitt durch das Schaufelblatt der Turbinenlaufschaufel gemäß Figur 1 als ein erstes Ausführungsbeispiel,
- Figur 3 die Seitenansicht auf eine Innenfläche einer Seitenwand des Schaufelblatts gemäß der Ansicht III-III,
- 10 Figur 4 den Querschnitt gemäß der Schnittlinie IV-IV durch das Schaufelblatt gemäß Figur 2 und
- Figur 5 ein alternatives Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Rippe-Kühlloch-Paarung in einer Seitenansicht
- 15

[0026] Nachfolgend sind identische technische Merkmale in allen Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen. Zudem können Merkmale unterschiedlicher Ausführungsbeispiele in beliebiger Weise miteinander kombiniert werden.

[0027] Figur 1 zeigt eine Turbinenschaufel 10 in einer perspektivischen Darstellung. Die Turbinenschaufel 10 ist gemäß Figur 1 als Laufschaufel ausgebildet. Sie umfasst einen tannenbaumförmigen Schaufelfuß 12 sowie eine daran angeordnete Plattform 14. Sonach schließt sich an die Plattform 14 ein Schaufelblatt 16 an, welches aerodynamisch gekrümmt ist. Ob das Schaufelblatt 16 von einer thermischen Schutzschicht überzogen ist oder nicht, ist für die Erfindung unerheblich. Das Schaufelblatt 16 umfasst eine Saugseitenwand 22 sowie eine Druckseitenwand 24. Bezogen auf ein das Schaufelblatt 16 umströmendes Heißgas erstrecken sich diese Wände von einer Vorderkante 18 zu einer Hinterkante 20. Entlang der Hinterkante 20 sind eine Vielzahl von Öffnungen 28 zur Ausblasung von Kühlmittel vorgesehen, welche durch dazwischen angeordnete Stege 30 voneinander getrennt sind. Das Schaufelblatt 16 erstreckt sich längs einer Spannweiterichtung, welche mit einer Radialrichtung einer Turbine zusammenfällt, von einem fußseitigen Ende 26 zu einem kopfseitigen Ende 27. Letzteres ist auch als Schaufelspitze bekannt. Bei einer Verwendung der gezeigten Turbinenschaufel 10 in einer axial durchströmten Gasturbine deckt sich die Spannweiterichtung mit der Radialrichtung R der Gasturbine.

[0028] Figur 2 zeigt eine Schnittdarstellung durch das Schaufelblatt 16 gemäß der Schnittlinie II - II als erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Schaufelblatts 16. In der Figur 2 ist lediglich das in Bezug auf die Spannweite bzw. Radialrichtung R der Gasturbine radial äußere Ende des Schaufelblatts 16, also die Schaufelblattspitze dargestellt. Eingebaut in einer Gasturbine erstreckt sich das Schaufelblatt 1 in die Radialrichtung R. Weitere Achsen der Gasturbine sind mit A und U bezeichnet, wobei A für Axialrichtung steht und U die Umfangsrichtung repräsentiert. Diese werden nachfolgend bei Bedarf verwendet, um die Anordnung einfacher zu beschreiben.

[0029] Das Schaufelblatt 16 weist an dem kopfseitigen Ende 27 eine Spitzenwand 34 auf, welche einen Hohlraum 32 nach außen hin begrenzt. Die Spitzenwand 34 steht im Wesentlichen in einem rechten Winkel zur saugseitigen Seitenwand 22 und geht in diese über. Im Übergangsbereich ist an einer zum Hohlraum 32 weisenden Innenfläche 40 der saugseitigen Seitenwand 22 eine Rippe 38 angeordnet. Die Rippe 38 erstreckt sich geradlinig von ihrem kopfseitig angeordneten Ende 46 zu ihrem fußseitig angeordneten Ende 44.

[0030] Radial nach innen benachbart ist unter Abstand zur Rippe 38 eine in Axialrichtung verlaufende weitere Rippe 39 vorgesehen, um bei ggf. radial auftretender Kühlströmung Partikel abzulenken.

[0031] An der radial nach außen weisenden Fläche 52 der Spitzenwand 34 ist zudem eine Dichtspitze 48 angeordnet und Teil dieser. Derartige Dichtspitzen, im Englischen auch als "squealer tips" bekannt, werden meist als radiale Verlängerungen der Seitenwände 22, 24 der Turbinenlaufschaufel 10 wahrgenommen. Sie dienen zur Reduzierung eines Spalts zwischen der Schaufelspitze und der diesen gegenüberliegenden Heißgaspfadbegrenzung der Gasturbine. Die Dichtspitzen 48 können in Bezug auf die äußeren Seitenflächen der saugseitigen Seitenwand 22 bzw. druckseitigen Seitenwand 24, wie gezeigt, stufenlos angeordnet sein.

[0032] Gemäß dem in Figur 2 dargestellten Ausführungsbeispiel erstreckt sich ein Kühlloch 36 durch die Spitzenwand 34 samt Dichtspitze 48 bis in die Rippe 38. Das Kühlloch 36 weist eine Einströmöffnung 42 für ein Kühlfluid auf. Ein dem Hohlraum 32 zuführbares Kühlfluid kann in besagte Öffnung 42 einströmen, entlang des Kühllochs 36 strömen und an dem äußeren Ende austreten. Währenddessen kühlt das Kühlfluid den lokalen Bereich der saugseitigen Seitenwand 22, der Spitzenwand 34 und insbesondere die Dichtspitze 48. Es ist selbstverständlich, dass an der Schaufelspitze einer Turbinenschaufel 10 mehrere der gezeigten und nachfolgend weiter detailliert beschriebene Paare von Kühlöchern 36 und Rippen 38 vorgesehen sein können. Das gilt insbesondere dann, wenn die Dichtspitze 48 sich entlang des gesamten Umlaufs des Schaufelblatts 16 erstreckt.

[0033] Das Kühlloch 36 muss sich nicht zwingend durch die Dichtspitze 48 erstrecken. Gemäß einer alternativen Ausgestaltung kann das Kühlloch 36 auch seitlich der Dichtspitze 48 enden. Es kann beispielsweise heißgasseitig enden oder auch im dem Spitzenfreiraum 39.

[0034] Figur 3 zeigt die Draufsicht auf das Innere der Schaufelspitze gemäß der Schnittnlinie III-III aus Figur 2. Aufgrund der Bezugnahme der unterschiedlichen Richtungen bei verbautem Schaufelblatt 16 in einer Gasturbine ist erkennbar, dass die Rippe 38 gegenüber der Radialrichtung geneigt ausgestaltet ist. Die Rippe 38 gemäß dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel erstreckt sich in geradliniger Art und Weise von ihrem kopfseitigen Ende 46 zu ihrem fußseitigen Ende 44. Gleichzeitig ist das

sich durch die Dichtspitze 48, die Spitzenwand 34 bis in die Rippe 38 hinein erstreckende Kühlloch 36 parallel zur Radialrichtung R ausgerichtet, dabei jedoch in Umfangsrichtung geneigt (Fig. 2). Die skizzierten Ausrichtungen des Kühllochs 36 und der Rippe 37 sind nicht zwingend erforderlich, sondern vielmehr jeweils abhängig von der Orientierung des aerodynamisch gekrümmten Schaufelblatts im Raum einerseits und dem Ort des Kühllochs andererseits. Bevorzugt ist eine Kanalachse 37 des Kühllochs 36 im Bereich der Einströmöffnung 42 gegenüber der Längserstreckung der Rippe 38 stumpfwinklig geneigt. Um dies zu erreichen, kann beispielsweise das Kühlloch 36 ebenso wie die Rippe 38 in Umfangsrichtung U und/oder in Axialrichtung A geneigt sein. Ein in Axialrichtung geneigtes Kühlloch 36 ist als zweites Ausführungsbeispiel in Figur 5 dargestellt und mündet in der in Radialrichtung gekrümmt ausgestalteten Rippe 38. Weiterhin zeigt Figur 5 neben den bereits beschriebenen Merkmalen eine elliptische Einströmöffnung 42, deren kürzere Achse 54 kleiner ist als der Durchmesser des restlichen, im Querschnitt kreisrunden Kühllochs 36.

[0035] Figur 4 zeigt den Schnitt durch das schaufelspitzenseitige Ende 27 des Schaufelblatts 16 gemäß der Schnittnlinie IV-IV aus Figur 2. Gemäß dem gezeigten Ausführungsbeispiel sind saugseitig zwei erfindungsgemäße Rippen 38 vorgesehen, von denen die erste asymmetrisch gewölbt von der Innenfläche 40 der saugseitigen Seitenwand 22 hervorsticht. Die zweite der beiden erfindungsgemäßen Rippen 38 ist dagegen in dieser Querschnittsbetrachtung, welche Querschnittsebene normal zur Radialrichtung R liegt, in ihrer Form dreieckig. Es ist nicht erforderlich, dass die Rippe ähnlich wie Turbulatoren von der Innenfläche hervorspringen, der Übergang von Innenfläche 40 zur Seitenfläche der Rippe 38 kann insbesondere auf ihrer Anströmseite auch stufenlos und somit aerodynamisch verlustarm ausgestaltet sein.

[0036] Die Kühllöcher 36 münden in einer der Seitenflächen der Rippen 38. Die Lage der Öffnung 42 ist erfindungsgemäß in derjenigen Seitenfläche der Rippe 38, welche abseits einer maximalen Rippenhöhe H angeordnet ist. Die Rippenhöhe H wird bezogen auf die restliche Innenfläche 40 der saugseitigen Wand 22.

[0037] Im Betrieb wird im Inneren des Schaufelblatts 16 der innengekühlten Turbinenlaufschaufel 10 ein Kühlfluid, vorzugsweise Kühlluft, zugeführt. Der Hohlraum 32 wird demzufolge von dem Kühlfluid durchströmt und das Kühlfluid weist eine aufgrund der Topologie des Hohlraums 32 und der Position einer Kühlluftzuführung und der Position angrenzender Abströmkanäle eine vorgegebene Hauptströmungsrichtung 50 auf. Diese Hauptströmungsrichtung ist in unmittelbarer Nähe der erfindungsgemäßen Rippe 38 zu ermitteln. Da das Kühlfluid nie gänzlich frei von Schmutzpartikeln sein kann, ist es von Vorteil, wenn die Einströmöffnung 42 des Kühllochs 36 auf derjenigen Seite der betreffenden Rippe 38 angeordnet ist, welche dem auf die betreffende Rippe zuströmenden Kühlfluid abgewandt ist. Die Einströmöffnung 42 des Kühllochs 36 liegt sozusagen eher im Wind-

schatten - im Lee - der maximalen Rippenhöhe H. Vom Kühlfluid mitgeführte Partikel werden aufgrund der Form der Rippe 38 in eine Strömungsbahn gelenkt, in der sie sich mit zunehmend zurückgelegten Weg immer weiter von den Innenflächen der Seitenwände 22, 24 entfernen bis zum Ort der maximalen Rippenhöhe H. Anschließend strömen sie aufgrund ihrer Trägheit und der von der Einströmöffnung 42 wegweisenden Strömungsrichtung daran vorbei; sie können nur unter erschwerten Bedingungen in das Kühlloch 36 einströmen. Dies hat zur Folge, dass partikelärmere Luft - im Vergleich zum Stand der Technik - in die Kühllöcher 36 einströmt und damit die Gefahr einer Verstopfung reduziert ist. Dies ermöglicht die Verwendung von Kühllöchern 36 mit besonders kleinem Durchmesser, beispielsweise auch kleiner als ein Millimeter bei verringerter Gefahr einer Verstopfung der Einströmöffnungen 42 bzw. der Kühllöcher 36 durch mitgeführte Partikel.

[0038] Aufgrund der gewölbten Kontur der Rippe 38 und der gegenüber der Radialrichtung R entweder in Umfangsrichtung U und/oder in Axialrichtung A angestellten Ausrichtungen der prinzipiell geradlinigen Kühllöcher 36 ist die Einströmöffnung 42 der in der Rippe 38 mündenden Kühllöcher 36 nicht kreisrund, sondern elliptisch geneigt mit einer längeren Achse und einer kürzeren Achse. Selbst dadurch wäre es bei zum geradlinigen Kühlloch 36 fluchtend strömender Kühlluft Partikel erschwert, in das betreffende Kühlloch 36 einzuströmen.

[0039] Das Kühlloch 36 kann nach dem Gießen der Turbinenschaufel 10 nachträglich durch Bohren hergestellt werden. Von besonderem Vorteil ist die gegenüber der Radialrichtung R geneigte Orientierung der Rippe 38. Beispielsweise bei einem geradlinigen, in Radialrichtung R gebohrten Kühlloch 36 bietet die geneigte Rippe 38 (Fig. 3) den Vorteil, dass das Kühlloch 36 in einem vergleichsweise großen axialen Abschnitt AB angesiedelt sein kann. Solange das Kühlloch 36 in diesem Abschnitt AB angesiedelt ist, weist es eine elliptisch geformte Einströmöffnung 42 auf, die stets auf der stromab des ankommenden Kühlfluids liegenden Seite im Lee angeordnet ist. Dies verbessert die Herstellbarkeit einer solchen Turbinenschaufel 10, da der Abschnitt AB, in dem das Kühlloch zu bohren ist, vergleichsweise groß und damit einfacher zu treffen ist.

[0040] Insgesamt wird mit der Erfindung ein Schaufelblatt 16 für eine innengekühlte Turbinenlaufschaufel 10 bereitgestellt, umfassend eine saugseitige Seitenwand 22 und eine druckseitige Seitenwand 24, die sich von einer gemeinsamen Vorderkante 18 zu einer gemeinsamen Hinterkante 20 und in einer Spannweiterichtung von einem fußseitigen Ende 26 zu einem kopfseitigen Ende 27 erstreckend einen Hohlraum zumindest teilweise umschließen, wobei das kopfseitige Ende 27 eine den Hohlraum 32 kopfseitig begrenzende Spitzenwand 34 umfaßt, in welcher zumindest ein Kühlloch 36, vorzugsweise mehrere Kühllöcher 36 zum Ausleiten von im Inneren strömbareren Kühlfluid vorgesehen ist bzw. sind. Um eine Turbinenschaufel bereitzustellen, bei der die Gefahr von

Verstopfungen von Kühllöchern verringert ist und somit die Standzeit der Turbinenschaufel 10 verlängert sein kann, wird vorgeschlagen, dass im Hohlraum 32 zumindest eine sich von der Spitzenwand 34 aus in Richtung des fußseitigen Endes 42 erstreckende Rippe vorzugsweise mehrere derartige Rippen 38, von der diese Rippe umgebenden Innenflächen 40 der saugseitigen Seitenwand 22 und/oder der Innenfläche 40 der druckseitigen Seitenwand 24 hervorsteht und dass eine - bezogen auf das Kühlfluid - Einströmöffnung 42 des zumindest einen Kühllochs 36 in der betreffenden Rippe 38 seitlich mündet.

15 Patentansprüche

1. Schaufelblatt (16) für eine innengekühlte Turbinenlaufschaufel (10),
umfassend eine saugseitige Seitenwand (22) und eine druckseitige Seitenwand (24), die sich von einer Vorderkante (18) zu einer Hinterkante (20) und in einer Spannweiterichtung von einem fußseitigen Ende (26) zu einem kopfseitigen Ende (27) erstreckend einen Hohlraum (32) zumindest teilweise umschließen,
wobei das kopfseitige Ende (27) eine den Hohlraum (32) kopfseitig begrenzende Spitzenwand (34) umfaßt, in welcher zumindest ein Kühlloch (36), vorzugsweise mehrere Kühllöcher (36) zum Ausleiten von im Inneren strömbareren Kühlfluid vorgesehen ist bzw. sind,

dadurch gekennzeichnet,

dass im Hohlraum (32) zumindest eine sich von der Spitzenwand (34) aus in Richtung des fußseitigen Endes erstreckende Rippe (38), vorzugsweise mehrere derartige Rippen (38), von der Innenfläche (40) der saugseitigen Seitenwand (22) oder von der Innenfläche (40) der druckseitigen Seitenwand (24) hervorsteht bzw. hervorstehten, und

dass eine Einströmöffnung (42) des zumindest einen Kühllochs (36) in der betreffenden Rippe (38) seitlich mündet.

2. Schaufelblatt (16) nach Anspruch 1, bei dem das Kühlloch (36) eine Kanalachse (37) aufweist, welche zumindest im Bereich der Einströmöffnung (42) des Kühllochs (36) gegenüber der Längserstreckung der Rippe (38) geneigt ist.
3. Schaufelblatt (16) nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Einströmöffnung (42) eine Ellipsenform mit einer kleineren Achse und einer größeren Achse aufweist, wobei die kleinere Achse kleiner ist als der Durchmesser des restlichen Kühllochs (36).
4. Schaufelblatt (16) nach Anspruch 1, 2 oder 3, bei dem die betreffende Rippe (38) in einer zur Spannweiterichtung normalen Querschnittsebene

- eine gewölbte Kontur mit einer - bezogen auf die restlichen Innenfläche - maximalen Rippenhöhe (H) aufweist und das einströmseitige Ende (42) des betreffenden Kühllochs (36) seitlich des Ortes der maximalen Rippenhöhe angeordnet ist. 5
5. Schaufelblatt (16) nach Anspruch 1, 2 oder 3, bei dem die betreffende Rippe (38) in einer zur Spannweiterichtung normalen Querschnittsebene eine eckige Kontur mit einer - bezogen auf die restlichen Innenfläche - maximalen Rippenhöhe (H) aufweist und die Einströmöffnung des betreffenden Kühllochs an einer seitlich angeordneten Oberfläche der Rippe angeordnet ist. 10 15
6. Schaufelblatt (16) nach zumindest einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die betreffende Rippe (38) ausgehend von ihrem kopfseitigen Ende (46) zu ihrem fußseitig angeordnetem Ende (44) in Richtung zur Vorderkante oder in Richtung zur Hinterkante geneigt ist. 20
7. Schaufelblatt (16) nach zumindest einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem der an die betreffende Rippe (38) angrenzende Hohlraum (32) dergestalt ist, dass dessen wesentliche Kühlmittelzufuhr auf derjenigen Seite der betreffenden Rippe angeordnet ist, welcher der die Einströmöffnung des Kühllochs aufweisenden Oberfläche der Rippe abgewandt ist. 25 30
8. Schaufelblatt (16) nach zumindest einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Spitzenwand 34 an ihrer nach außen weisenden Fläche zumindest eine Dichtspitze (48) umfasst. 35
9. Schaufelblatt (16) nach zumindest Anspruch 8, bei dem das betreffende Kühlloch (36) sich zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig durch die Dichtspitze (48) erstreckt. 40
10. Turbinenlaufschaufel (10) mit einem Schaufelblatt (16), dessen Schaufelblatt 16 einem Schaufelblatt der Ansprüche 1 bis 9 entspricht. 45
11. Verfahren zum Herstellen eines Schaufelblatts (16) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, 50
- Bereitstellen eines vorzugsweise durch einen Feinguss hergestellten Schaufelblatts (16) umfassend eine saugseitige Seitenwand (22) und eine druckseitige Seitenwand (24), die sich entlang einer Profilmittenlinie von einer gemeinsamen Vorderkante zu einer gemeinsamen Hinterkante und in einer Spannweiterichtung von einem fußseitigem Ende zu einem kopfseitigen Ende erstreckend einen Hohlraum zumindest 55

teilweise umschließen, wobei das kopfseitige Ende eine den Hohlraum kopfseitig begrenzende Spitzenwand umfasst, wobei im Hohlraum des Schaufelblatts zumindest eine sich von der Spitzenwand aus in Richtung des fußseitigen Endes erstreckende Rippe, vorzugsweise mehrere derartige Rippen von der Innenfläche der saugseitigen Seitenwand oder von der Innenfläche der druckseitigen Seitenwand hervorsteht bzw. hervorstehen, und - Bohren des zumindest einen Kühllochs, derart, dass dessen Einströmöffnung in einer der betreffenden Rippen mündet.

FIG 1

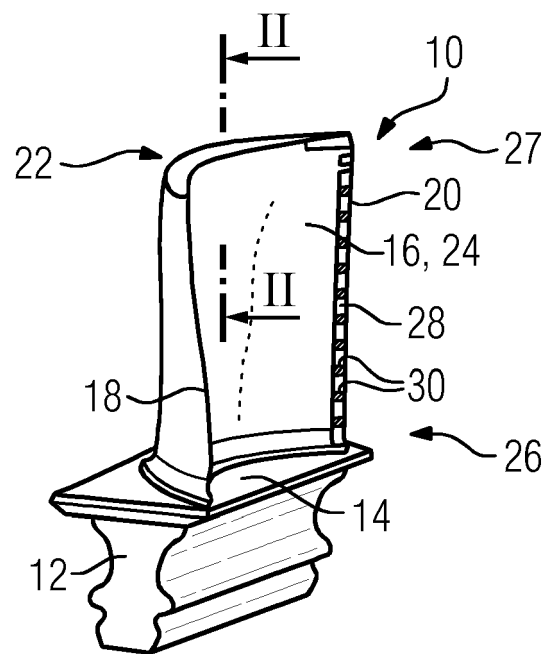


FIG 2

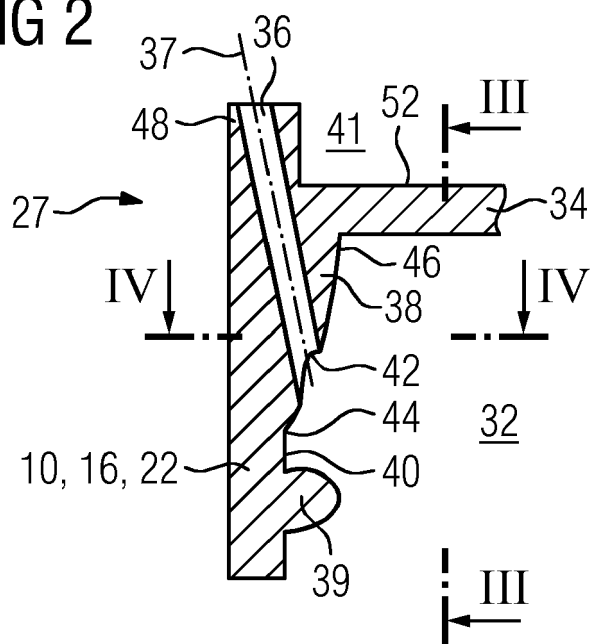


FIG 3

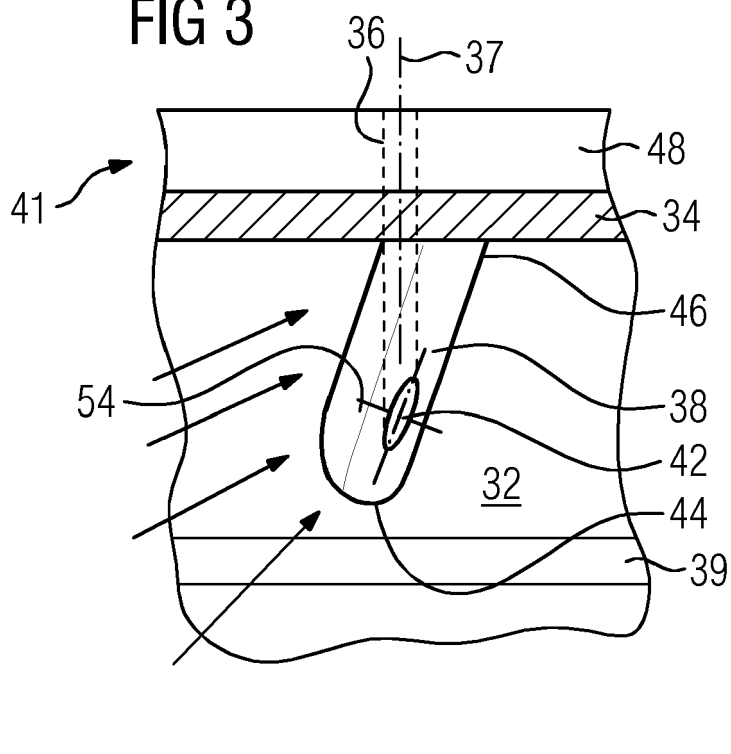


FIG 4
10, 16

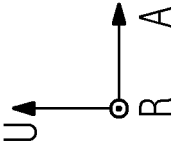
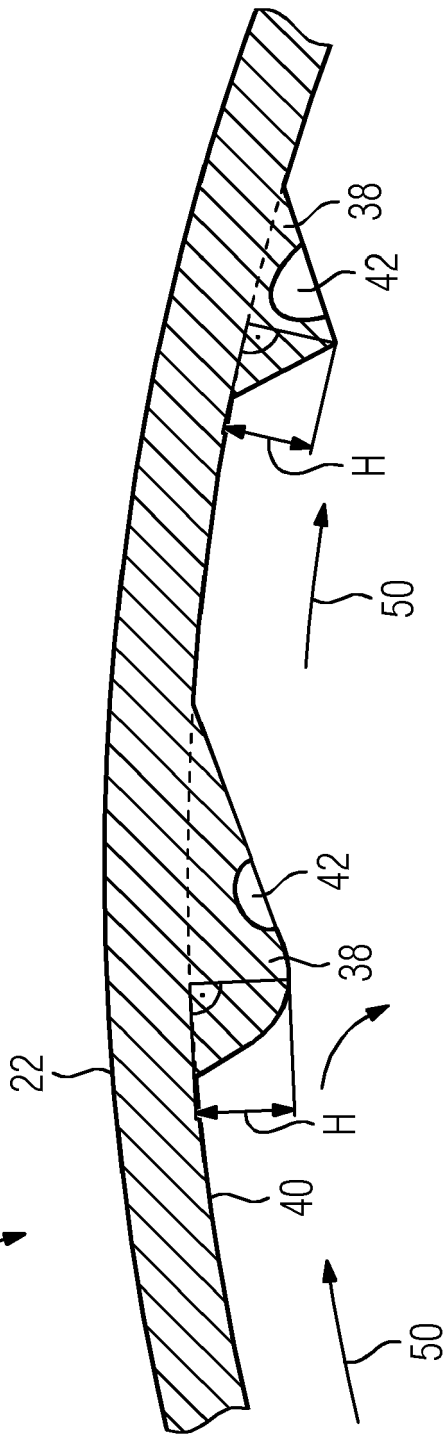
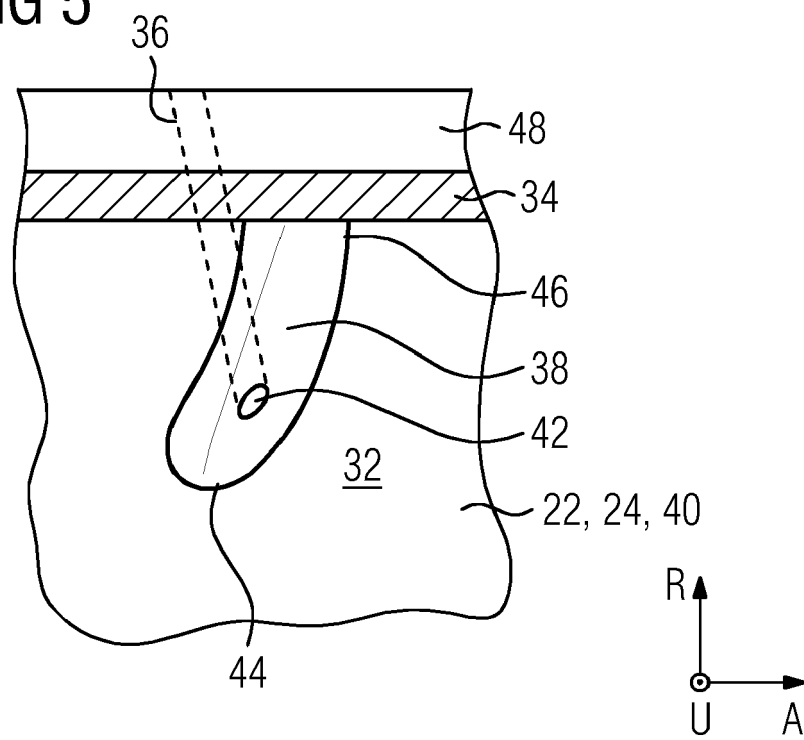


FIG 5





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 17 19 7244

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)
A	EP 1 793 087 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 6. Juni 2007 (2007-06-06) * Zusammenfassung * * Absatz [0036] - Absatz [0040] * * Abbildungen *	1-11	INV. F01D5/20 F01D11/10 ADD. F01D11/08 F01D5/18
A	US 2017/159450 A1 (BUHLER JARED PETER [US] ET AL) 8. Juni 2017 (2017-06-08) * Zusammenfassung * * Absatz [0037] - Absatz [0049] * * Abbildungen *	1-11	
A	US 2012/308392 A1 (BUTKIEWICZ JEFFREY JOHN [US] ET AL) 6. Dezember 2012 (2012-12-06) * Zusammenfassung * * Absatz [0031] - Absatz [0036] * * Abbildung 4 *	1-11	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 22. Dezember 2017	Prüfer Mielimonka, Ingo
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 17 19 7244

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.

22-12-2017

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
15	EP 1793087	A1	06-06-2007	CN	1982654 A	20-06-2007
				EP	1793087 A1	06-06-2007
				JP	4716375 B2	06-07-2011
				JP	2007154894 A	21-06-2007
				US	2007128033 A1	07-06-2007
20	US 2017159450	A1	08-06-2017	CA	2949297 A1	07-06-2017
				CN	107060891 A	18-08-2017
				EP	3199763 A1	02-08-2017
				JP	2017115862 A	29-06-2017
				US	2017159450 A1	08-06-2017
25	US 2012308392	A1	06-12-2012	CN	102808655 A	05-12-2012
				EP	2570594 A2	20-03-2013
				US	2012308392 A1	06-12-2012
30	-----					
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1793086 A2 [0004]
- EP 0965728 A2 [0005]