

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
02.03.2016 Patentblatt 2016/09

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

(21) Anmeldenummer: **14182283.3**

(22) Anmeldetag: **26.08.2014**

(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

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

(72) Erfinder:

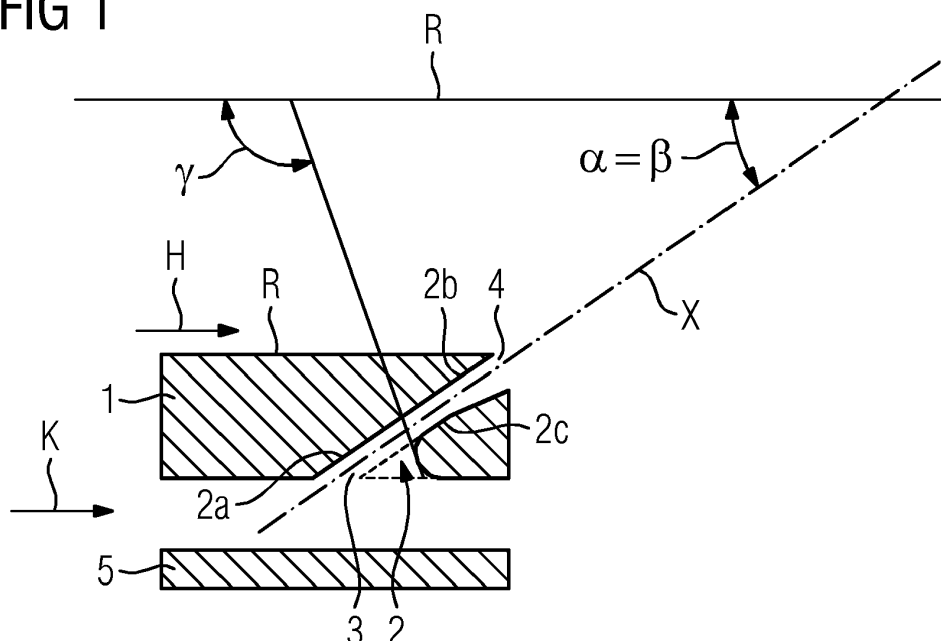
- **Auf dem Kampe, Tilman**
47269 Duisburg (DE)
- **Dahlke, Stefan**
45481 Mülheim a.d. Ruhr (DE)
- **Fraas, Marc**
70435 Stuttgart (DE)
- **Heselhaus, Andreas**
40235 Düsseldorf (DE)

(54) **Turbinenschaufel**

(57) Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel für eine Strömungsmaschine mit einer Turbinenschaufelwand (1), in der wenigstens ein Fluidkanal (2) ausgebildet ist, durch welchen ein Kühlfluid von einer Kaltgasseite zu einer von Heißgas überströmten Oberfläche, d.h. der Heißgasseite der Turbinenschaufelwand (1) strömen kann, wobei der wenigstens eine Fluidkanal (2) an seinem zur Kaltgasseite weisenden Endbereich einen Einström-Kanalabschnitt (2a), an seinem zur Heißgasseite der Turbinenschaufelwand (1) weisenden Endbereich einen Ausström-Kanalabschnitt (2b) und zwischen dem

Einström-Kanalabschnitt (2a) und dem Ausström-Kanalabschnitt (2b) einen zentralen Kanalabschnitt (2c) mit einem über die Länge konstanten, kreisförmigen oder ovalen Querschnitt, der eine Längsachse (X) des Fluidkanals (2) definiert, welche mit der von Heißgas überströmten Oberfläche der Turbinenschaufelwand (1) einen spitzen Winkel einschließt, besitzt, dadurch gekennzeichnet, dass der Einström-Kanalabschnitt einen sich kontinuierlich in Richtung des zentralen Kanalabschnitts verkleinernden Querschnitt aufweist.

FIG 1



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel für eine Strömungsmaschine mit einer Turbinenschaufelwand, in der wenigstens ein Fluidkanal ausgebildet ist, durch welchen ein Kühlfluid von einer Kaltseite zu einer von Heißgas überströmten Oberfläche, d.h. der Heißgasseite der Turbinenschaufelwand strömen kann, und wobei der wenigstens eine Fluidkanal an seinem zur Kaltseite weisenden Endbereich einen Einström-Kanalabschnitt, an seinem zur Heißseite der Turbinenschaufelwand weisenden Endbereich einen Ausström-Kanalabschnitt und zwischen dem Einström-Kanalabschnitt und dem Ausström-Kanalabschnitt einen zentralen Kanalabschnitt mit einem über die Länge konstanten, kreisförmigen oder ovalen Querschnitt, der eine Längsachse des Fluidkanals definiert, welche mit der von Heißgas überströmten Oberfläche der Turbinenschaufelwand einen spitzen Winkel einschließt, besitzt.

[0002] Strömungsmaschinen, insbesondere Gasturbinen (im weiteren Sinn), weisen eine Gasturbine (im engeren Sinn) auf, in der ein Heißgas, welches zuvor in einem Verdichter komprimiert und in einer Brennkammer erhitzt wurde, zur Arbeitsgewinnung entspannt wird. Für hohe Massenströme des Heißgases und damit hohe Leistungsbereiche sind Gasturbinen in Axialbauweise ausgeführt, wobei die Gasturbine von mehreren in Durchströmungsrichtung hintereinander liegenden Schaufelkränzen gebildet ist. Die Schaufelkränze weisen über ihren Umfang angeordnete Laufschaufeln und Leitschaufeln auf, wobei die Laufschaufeln an einem Rotor der Gasturbine und die Leitschaufeln an dem Gehäuse der Gasturbine befestigt sind.

[0003] Der thermodynamische Wirkungsgrad von Gasturbinen ist umso höher, je höher die Eintrittstemperatur des Heißgases in die Gasturbine ist. Der Höhe der Eintrittstemperatur sind jedoch Grenzen durch die thermische Belastbarkeit der Turbinenschaufeln gesetzt. Dementsprechend besteht eine Zielsetzung darin, Turbinenschaufeln zu schaffen, die auch bei hohen thermischen Belastungen eine für den Betrieb der Gasturbine ausreichende mechanische Festigkeit besitzen. Hierzu werden Turbinenschaufeln mit aufwendigen Beschichtungssystemen versehen. Zur weiteren Erhöhung der zulässigen Turbineneintrittstemperatur werden Turbinenschaufeln im Betrieb der Gasturbine gekühlt. Hierbei stellt die Filmkühlung eine sehr wirksame und zuverlässige Methode zur Kühlung von hochbeanspruchten Turbinenschaufeln dar. Dabei wird Kühlluft aus dem Verdichter abgezapft und in die mit internen Kühlfluidkanälen versehenen Turbinenschaufeln geführt. Nach einer konvektiven Kühlung des Materials von der Innenseite der Turbinenschaufeln her wird die Luft durch Fluidkanäle auf die Außenoberfläche der Turbinenschaufel geleitet. Dort bildet sie einen Film, der entlang der Außenoberfläche der Turbinenschaufel strömt und diese kühlt sowie gleichzeitig vor der heißen Strömung schützt.

[0004] Eine ideale Filmkühlung könnte mit Hilfe einer

Schlitzausblasung erreicht werden. Da dies aus struktureller Hinsicht an Turbinenschaufeln nicht realisierbar ist, werden in erster Linie aufgrund der Fertigbarkeit zylindrische Fluidkanäle oder auch Fluidkanäle mit ovalem Querschnitt eingesetzt. Des Weiteren ist bekannt, in Annäherung an das Prinzip der Schlitzkühlung den Querschnitt der Fluidkanäle an deren Auslass, d.h. in deren Ausström-Kanalabschnitt diffusorartig aufzuweiten. Hierbei wird der Austrittsquerschnitt um einen bestimmten Faktor vergrößert. Dies führt zu einer Auffächerung des Kühlluftstrahls, die abhängig von der Strömungssituation mit einer Absenkung des Strahlimpulses, niedrigeren Mischungsverlusten und größerer lateraler Abdeckung einhergeht. Allgemein gilt, dass kontourierte Bohrungen zu einer Erhöhung der Effektivität im Bereich der Fluidkanallängsachse und insgesamt zu einer besseren lateralen Abdeckung führen.

[0005] Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die Kühlluft in den Fluidkanälen bzw. Kühlkanälen von deren Wandung ablöst. Wie in der Figur 5 dargestellt ist, findet eine derartige Ablösung insbesondere im diffusorartig ausgebildeten Ausström-Kanalabschnitt des Fluidkanals statt, und zwar an dessen in Bezug auf die Strömungsrichtung des Heißgases betrachtet stromabwärtigen Wandbereich. Des Weiteren haben Untersuchungen gezeigt, dass es beim Durchströmen der Fluidkanäle zu Wirbelbildungen kommt, wie sie in Figur 6 dargestellt sind. Im Wesentlichen lassen sich vier verschiedene Wirbelstrukturen identifizieren.

[0006] Ringwirbel Ω_1 : Der Kühlluftstrahl wirkt wie ein geneigter Zylinder auf die Hauptströmung und beschleunigt diese. Es bilden sich Druckdifferenzen zwischen der stromauf- und stromabgewandten Seite sowie der Oberseite des Kühlluftstrahls, die zu einer Ausgleichsströmung führen. Dadurch bilden sich Ringwirbel Ω_1 . Die Rotation der austretenden Grenzschicht der Kühlluft unterstützt diesen Effekt.

[0007] Nierenwirbel Ω_2 : Die Nierenwirbel sind ein Ergebnis eines im Fluidkanal entstehenden Wirbelpaars. Reibungskräfte in der freien Scherschicht zwischen dem austretenden Kühlfluidstrahl und der Hauptströmung verstärken die Rotation zusätzlich.

[0008] Hufeisenwirbel Ω_3 : Hufeisenwirbel Ω_3 entstehen im Staubereich eines senkrecht in einer Grenzschichtströmung stehenden Zylinders. In Wandnähe ist der Druck in der Grenzschicht minimal. In der äußeren Schicht der Hauptströmungsgrenzschicht bildet sich dagegen ein positiver Druckgradient. Die Grenzschicht löst sich ab und rollt sich entgegen der Hauptströmung in Richtung des Druckminimums an der Wand ein. Der entstehende Wirbel legt sich beidseitig um den Zylinder. Die Rotationsrichtung der Hufeisenwirbel Ω_3 ist der der benachbarten Nierenwirbel Ω_2 entgegengesetzt, und die Hufeisenwirbel Ω_3 verlaufen bei Einzellochausblasung seitlich unterhalb des Kühlluftstrahls.

[0009] Instationäre Wirbel Ω_4 : Die instationären Wirbel sind vergleichbar mit Kármán-Wirbeln im Nachlauf eines Zylinders. Ursache für die Wirbelbildung ist die Grenz-

schichtablösung auf der Saugseite des Zylinders. Die instationären Wirbel $\Omega 4$ entstehen senkrecht auf der gekühlten Oberfläche.

[0010] Trifft also Heißgas aus einer Brennkammer der Strömungsmaschine an der Außenoberfläche der Turbinenschaufel auf einen Strahl des aus dem Fluidkanal ausgetretenen Kühlfluids, so teilt sich die Strömung des Heißgases um den Kühlfluidstrahl auf, und es bildet sich durch die Wirkung des Heißgases am Strahlrand ein Schornsteinwirbel mit zwei Wirbelarmen $\Omega 2$ aus. Jeder der beiden Wirbelarme $\Omega 2$ ist von einem Wirbel gebildet, wobei die Geschwindigkeitsvektoren des Heißgases an den beiden Innenseiten der Wirbelarme von der Außenwand weg zeigen.

[0011] Um die Wirbelbildung zu beeinflussen, ist es bekannt, in den Fluidkanälen Turbulatoren in der Form von Rippen oder Pins vorzusehen (siehe WO 2013/089255 A1 und US 2009/0304499 A1).

[0012] Die Bestrebungen gehen dahin, die Filmkühlleistung weiter zu erhöhen. Entsprechend ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Turbinenschaufel für eine Strömungsmaschine zu schaffen, die effektiv mit einer Filmkühlung kühlbar ist.

[0013] Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß bei einer Turbinenschaufel der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass der Einström-Kanalabschnitt einen sich kontinuierlich in Richtung des zentralen Kanalabschnitts verkleinernden Querschnitt aufweist.

[0014] Der Erfindung liegt damit die Überlegung zugrunde, den Fluidkanal an seinem einströmseitigen Endbereich mit einem vergrößerten Strömungsquerschnitt zu versehen. Entsprechend besitzt der Einström-Kanalabschnitt einen Einlass großer Querschnittsfläche, von welchem ausgehend sich der Strömungsquerschnitt in dem Einström-Kanalabschnitt kontinuierlich verkleinert.

[0015] Es hat sich gezeigt, dass durch die erfindungsgemäß vorgenommene Änderung der Geometrie die Strömung des Kühlfluids in dem Fluidkanal in der Weise beeinflusst werden kann, dass einerseits sich das in Figur 6 gezeigte Wirbelpaar $\Omega 2$ genau anders herum dreht und andererseits die Ablösung im Diffusor zur stromaufwärtigen Seite verlagert werden kann, wie dies in der Figur 4 gezeigt ist. Beide Effekte haben einen positiven Einfluss auf die Filmkühleffektivität und können insbesondere die laterale Ausdehnung des Kühlfluidstrahls bewirken.

[0016] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass der Einström-Kanalabschnitt in den zentralen Kanalabschnitt stetig, d.h. ohne Kantenbildung übergeht. Ferner hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn die einlassseitige Kante des Fluidkanals im Übergangsbereich zwischen der kaltgasseitigen Fläche, insbesondere der Innenfläche, der Turbinenschaufel, zum Fluidkanal zumindest bereichsweise abgerundet ausgebildet ist. Insbesondere sollte der Einlass des Einström-Kanalabschnitts an dem zur Heißgasseite gewandten Randbereich des Fluidkanals abgerundet sein. Dabei kann der zur Heißgasseite gelegene Wandbereich des Einström-

Kanalabschnitts gradlinig verlaufen und insbesondere gradlinig in den zentralen Kanalabschnitt übergehen.

[0017] Ebenso kann vorgesehen sein, dass der Einström-Kanalabschnitt an seiner zur Kaltgasseite gewandten Seite eine gradlinig verlaufende Wandung besitzt, welche gegenüber der Längsachse des Fluidkanals X geneigt ist, wobei der Neigungswinkel insbesondere $10-20^\circ$, bevorzugt etwa 10° beträgt. Alternativ kann der Einström-Kanalabschnitt an seiner zur Kaltgasseite gewandten Seite eine gekrümmte Wandung besitzen. Die gekrümmte Wandung kann beispielsweise kreisbogenförmig ausgebildet sein.

[0018] Dem Einlass des Fluidkanals gegenüberliegend kann auf der Kaltgasseite im Innern der Turbinenschaufel eine Prallwand ausgebildet sein, die einen Strömungskanal im Inneren der Turbinenschaufel bildet.

[0019] Ebenso ist gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, dass in der Turbinenschaufel ein Strömungskanal ausgebildet ist, der vom Kühlfluid durchströmt wird, und dass sich der Fluidkanal an die stromabwärtige Stirnseite des Strömungskanals anschließt, so dass Kühlfluid aus dem Strömungskanal in den Einström-Kanalabschnitt des Fluidkanals gradlinig einströmt.

[0020] In an sich bekannter Weise kann der Ausström-Kanalabschnitt divergierend ausgebildet sein. Dabei kann die Wand des Ausström-Kanalabschnitts an der zur Heißgasseite gewandten Seite in der Richtung des Fluidkanals verlaufen und geradlinig in den zentralen Kanalabschnitt übergehen. Gemäß einer alternativen Ausführungsform ist vorgesehen, dass der zur Heißgasseite gewandte Wandbereich des Ausström-Kanalabschnitts gegenüber der Längsachse des Fluidkanals geneigt ist, so dass der spitze Winkel δ , den der Wandbereich mit der von Heißgas überströmten Oberfläche der Turbinenschaufelwand einschließt, größer ist als der spitze Winkel α , den die Längsachse des Fluidkanals mit der Oberfläche einschließt. Auf der zur Kaltgasseite gewandten Seite verläuft die Wandung des Ausström-Kanalabschnitts ebenso geradlinig und ist gegenüber der Längsachse des Fluidkanals geneigt, so dass der spitze Winkel ε , den die Wandung mit der von Heißgas überströmten Oberfläche einschließt, kleiner ist als der spitze Winkel α , den die Längsachse des Fluidkanals mit der Oberfläche einschließt.

[0021] Hinsichtlich vorteilhafter Ausgestaltungen der Erfindung wird auf die nachfolgende Beschreibung eines Ausführungsbeispiels verwiesen. In Zeichnung zeigt

Figur 1 einen Längsschnitt durch eine Turbinenschaufelwand mit einem Fluidkanal, der erfindungsgemäß ausgestaltet ist,

Figur 2 eine Schnittansicht durch eine Turbinenschaufelwandung mit einem weiteren erfindungsgemäß ausgebildeten Fluidkanal,

Figur 3 eine Schnittansicht durch eine Turbinen-

schaufelwand mit einer dritten Ausführungsform eines Fluidkanals gemäß der vorliegenden Erfindung,

Figur 4 eine schematische Darstellung, welche die Lage der Ablösung des Kühlfluids im diffusorartig ausgebildeten Ausström-Kanalabschnitt bei der Ausgestaltung des Fluidkanals gemäß den Figuren 1, 2 und 3 zeigt,

Figur 5 eine schematische Darstellung, welche das Ablöseverhalten des Kühlfluids bei herkömmlichen Fluidkanälen mit einem diffusorartig ausgebildeten Ausström-Kanalabschnitt zeigt, und

Figur 6 eine schematische Darstellung, welche die Wirbelbildung in einer herkömmlichen Filmkühlbohrung zeigt.

[0022] In der Figur 1 ist in einem Längsschnitt ein Ausschnitt einer Turbinenschaufelwand 1 dargestellt, in der ein Fluidkanal 2 ausgebildet ist, durch welchen ein Kühlfluid wie beispielsweise Kühlluft von einer Kaltgasseite der Turbinenschaufel - hier der Innenfläche der Turbinenschaufel - zu einer von Heißgas H überströmten Außenoberfläche der Turbinenschaufelwand 2, welche eine Heißgasseite der Turbinenschaufel bildet, strömen kann. Der Fluidkanal 2 weist an seinem zur Kaltgasseite weisenden Endbereich einen Einström-Kanalabschnitt 2a mit einem Fluideinlass 3, an seinem zur Heißgasseite der Turbinenschaufelwand 1 weisenden Endbereich einen sich diffusorartig erweiternden Ausström-Kanalabschnitt 2b mit einem Fluidauslass 4 und zwischen dem Einström-Kanalabschnitt 2a und dem Ausström-Kanalabschnitt 2b einen zentralen Kanalabschnitt 2c, der eine Längsachse X des Fluidkanals 2 definiert und über seine Länge einen konstanten kreisförmigen Querschnitt besitzt, auf. Die Längsachse X des Fluidkanals 2 schließt mit der vom Heißgas überströmten Oberfläche der Turbinenschaufelwand 1 einen spitzen Winkel α ein, der zwischen der Längsachse X und der Oberfläche an der Anströmseite bzw. stromaufwärts gelegenen Seite des Fluidkanals 2 gemessen wird. Dieser Flächenabschnitt ist als Referenzfläche R in der Zeichnung dargestellt.

[0023] Bei herkömmlichen Fluidkanälen sind der Einström-Kanalabschnitt 2a und der zentrale Kanalabschnitt 2c in der Regel als eine durchgehende Bohrung ausgebildet, wie dies in der Figur 1 durch Strichlinien angedeutet ist. Erfindungsgemäß besitzt der Einström-Kanalabschnitt 2a einen gegenüber dem zentralen Kanalabschnitt 2c vergrößerten Querschnitt, welcher kontinuierlich in Richtung des zentralen Kanalabschnitts 2c abnimmt und sich damit trichterartig verjüngt.

[0024] Bei der in Figur 1 dargestellten Ausführungsform ist diejenige Wandung, die zur Heißgasseite des Fluidkanals F liegt, durchgehend geradlinig ausgebildet.

[0025] Demgegenüber ist die Wandung des Ausströmkanalabschnitts 2b auf der stromabwärts gerichteten Seite zu der Längsachse X des Fluidkanals 2 unter Bildung

der Diffusorkontur geneigt.

[0026] Im Einström-Kanalabschnitt 2a ist die scharfkantige Ecke, die normalerweise zwischen der Wandung an der stromabwärtigen Seite des Fluidkanals 2 und der Innenwand der Turbinenschaufelwand 1 gebildet wird, weggenommen, so dass der spitze Winkel $\beta = \alpha$, den die Wandung des Einström-Kanalabschnitts 2a an ihrer zur Heißgasseite gewandten Seite mit der Referenzfläche R einschließt, kleiner ist als der Winkel γ , den die Wandung des Einström-Kanalabschnitts 2a an deren stromabwärts gelegenen Seite mit der Referenzfläche R einschließt. Dieser Winkel γ ist bei der in Figur 1 dargestellten Ausführungsform ein stumpfer Winkel, wobei die Wandung auf der stromabwärts liegenden Seite des Einström-Kanalabschnitts 2a zusätzlich in der Weise gekrümmt ist, dass der Winkel γ vom Einlass zum zentralen Kanalabschnitt 2c kontinuierlich abnimmt. Die gekrümmte Wandung ist hier kreisbogenförmig ausgebildet, wobei der Krümmungsradius ein Mehrfaches des Durchmessers des zentralen Kanalabschnitts 2c beträgt. Dabei sind die Übergänge von der Wandung des Einström-Kanalabschnitts 2a zur kaltgasseitigen Innenfläche der Turbinenschaufelwand 1 und zum zentralen Kanalabschnitt 2c abgerundet, um stetige Übergänge zu schaffen.

[0027] In der Figur 2 ist in einem Längsschnitt ein Ausschnitt einer weiteren Turbinenschaufelwand 1 dargestellt, in der ein Fluidkanal 2 ausgebildet ist, durch welchen ein Kühlfluid wie beispielsweise Kühlluft von einer kaltseitigen Innenfläche einer Turbinenschaufelwand 1 zu einer von Heißgas überströmten Außenoberfläche der Turbinenschaufelwand 2 strömen kann. Der Fluidkanal 2 weist an seinem zur Innenfläche der Turbinenschaufelwand 1 weisenden Endbereich einen Einström-Kanalabschnitt 2a mit einem Fluideinlass 3, an seinem zur Heißgasseite der Turbinenschaufelwand 1 weisenden Endbereich einen sich diffusorartig erweiternden Ausström-Kanalabschnitt 2b mit einem Fluidauslass 4 und zwischen dem Einström-Kanalabschnitt 2a und dem Ausström-Kanalabschnitt 2b einen zentralen Kanalabschnitt 2c, der eine Längsachse X des Fluidkanals 2 definiert und über seine Länge einen konstanten kreisförmigen Querschnitt besitzt, auf. Die Längsachse X des Fluidkanals 2 schließt mit der Referenzfläche R an der vom Heißgas überströmten Außenoberfläche der Turbinenschaufelwand 1 einen spitzen Winkel α ein, der zwischen der Längsachse X und der Oberfläche an der Anströmseite bzw. stromaufwärts gelegenen Seite des Fluidkanals 2 gemessen wird. An ihrer stromaufwärts gelegenen Seite verläuft die Wandung des Fluidkanals 2 im Bereich des Einström-Kanalabschnitts 2a und des zentralen Kanalabschnitts 2c durchgängig geradlinig in der Richtung der Längsachse X des Fluidkanals 2, während sie im Ausström-Kanalabschnitt 2b gegenüber der Längsachse X geneigt ist, so dass der spitze Winkel δ , den die Wandung hier mit der Referenzfläche R einschließt, um etwa 10° größer ist als der spitze Winkel α , den die Längsachse X des Fluidkanals mit der Referenzfläche R einschließt.

[0028] An ihrer zur Kaltgasseite gewandten Seite ist die Wandung des Fluidkanals 2 im Bereich des Ausström-Kanalabschnitts 2b gegenüber der Wandung des zentralen Kanalabschnitts 2c geneigt, so dass der spitze Winkel ε , den die Wandung mit der Referenzfläche R einschließt, kleiner ist als der spitze Winkel α , den die Längsachse X mit der Referenzfläche R einschließt.

[0029] Im Einström-Kanalabschnitt 2a ist die Wandung des Fluidkanals 2 an ihrer zur Kaltgasseite gewandten Seite geradlinig ausgebildet, jedoch ist der Neigungswinkel γ , den die Wandung mit der Referenzfläche R einschließt, um etwa 10° größer ist als der Winkel α , den die Längsachse X des Fluidkanals 2 mit der Referenzfläche R einschließt, so dass der Einström-Kanalabschnitt 2a vom Einlass 3 zum zentralen Fluidkanalabschnitt 2c eine sich kontinuierlich verkleinernde Querschnittsfläche aufweist.

[0030] In der Figur 3 ist schließlich eine dritte Ausführungsform eines Fluidkanals 2 in einer Turbinenschaufelwand 1 dargestellt. Dieser umfasst einen Einström-Kanalabschnitt 2a mit einem Einlass 3 auf der Kaltseite der Turbinenschaufelwand 1, einen Ausström-Kanalabschnitt 2b mit einem Auslass 4 auf der Heißeite der Turbinenschaufelwand 1 und einen sich zwischen dem Einström-Kanalabschnitt 2a und dem Ausström-Kanalabschnitt 2b befindlichen zentralen Kanalabschnitt 2c mit einem über seine Länge konstanten, kreisförmigen Querschnitt. Bei der hier dargestellten Ausführungsform ist die Turbinenschaufelwand 1 doppelwandig ausgebildet, wobei in der Turbinenschaufelwand 1 ein Strömungskanal 6 gebildet wird, der in Richtung des Pfeils K von einem Kühlfluid durchströmt wird. Die Anordnung ist hier so getroffen, dass sich der Einlass 3 des Einström-Kanalabschnitts 2a an der in der Strömungsrichtung K des Kühlfluids stromabwärts liegenden Stirnseite des Strömungskanals 6 befindet und somit das Kühlfluid geradlinig in den Fluidkanal 2 einströmt. Der Einström-Kanalabschnitt 2a des Fluidkanals 2 ist auch hier konvergierend mit einem sich kontinuierlich vom Einlass 3 zum zentralen Kanalabschnitt 2 verkleinernden Querschnitt ausgebildet, wobei die Wandung des Einström-Kanalabschnitts 2a und auch die Übergänge zwischen dem Einström-Kanalabschnitt 2a und dem Strömungskanal 6 sowie dem zentralen Kanalabschnitt 2c stetig verlaufen.

[0031] Wie im Fall des Ausführungsbeispiels gemäß der Figur 1 verläuft die Wandung des Fluidkanals 2 an ihrer zur Kaltgasseite gewandten Seite in dem zentralen Kanalabschnitt 2c und dem Ausström-Kanalabschnitt 2b geradlinig in der Richtung der Längsachse X des Fluidkanals 2, während die Wandung des Ausström-Kanalabschnitts 2b auf der zur Kaltgasseite gewandten Seite zwar geradlinig verläuft, aber gegenüber der Längsachse X unter Bildung der diffusorartigen Erweiterung geneigt ist.

[0032] Wenn im Betrieb der Fluidkanal 2 von einem Kühlfluid wie beispielsweise Kühlluft durchströmt wird, führt in allen drei Ausführungsbeispielen der gegenüber dem zentralen Kanalabschnitt 2c vergrößerte Quer-

schnitt des Fluidkanals 2 im Einström-Kanalabschnitt 2a zu einer Verzögerung des Kühlfluidstroms. Diese Verzögerung führt dazu, dass sich der Kühlfluidstrom - wie in Figur 4 gezeigt - im diffusorartig erweiternden Ausström-Kanalabschnitt 2b von der Wandung des Fluidkanals 2 an deren stromaufwärts in Bezug auf die Heißgasströmung H gelegenen Seite ablöst. Wie die Figur 4 erkennen lässt, legt sich hierdurch der Kühlfluidstrom nach dem Verlassen des Fluidkanals 2 optimal an die äußere Oberfläche der Turbinenschaufelwand 1 an, um diese vor dem überströmenden Heißgas zu schützen.

[0033] Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Turbinenschaufel für eine Strömungsmaschine mit einer Turbinenschaufelwand (1), in der wenigstens ein Fluidkanal (2) ausgebildet ist, durch welchen ein Kühlfluid von einer Kaltgasseite zu einer im Betrieb von Heißgas überströmten Oberfläche, d.h. der Heißgasseite der Turbinenschaufelwand (1) strömen kann, wobei der wenigstens eine Fluidkanal (2) an seinem zur Kaltgasseite weisenden Endbereich einen Einström-Kanalabschnitt (2a), an seinem zur Heißgasseite der Turbinenschaufelwand (1) weisenden Endbereich einen Ausström-Kanalabschnitt (2b) und zwischen dem Einström-Kanalabschnitt (2a) und dem Ausström-Kanalabschnitt (2b) einen zentralen Kanalabschnitt (2c) mit einem über die Länge konstanten, kreisförmigen oder ovalen Querschnitt, der eine Längsachse (X) des Fluidkanals (2) definiert, welche mit der von Heißgas überströmten Oberfläche der Turbinenschaufelwand (1) einen spitzen Winkel (α) einschließt, besitzt, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Einström-Kanalabschnitt (2a) einen sich kontinuierlich in Richtung des zentralen Kanalabschnitts (2c) verkleinernden Querschnitt aufweist.
2. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Einström-Kanalabschnitt (2a) in den zentralen Kanalabschnitt (2c) stetig, d.h. ohne Kantenbildung, übergeht.
3. Turbinenschaufel nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Einlass (3) des Einström-Kanalabschnitts (2a) am Übergangsbereich zu der kaltasseitigen Fläche, insbesondere der Innenfläche der Turbinenschaufelwand (1) zumindest bereichsweise abgerundet ist.

4. Turbinenschaufel nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Einlass (3) des Einström-Kanalabschnitts (2a)
an dem zur Heißgasseite gewandten Randbereich
des Fluidkanals (2) abgerundet ist. 5
5. Turbinenschaufel nach Anspruch 3 oder 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
der zur Heißgasseite gewandte Wandbereich des
Einström-Kanalabschnitts (2a) gradlinig verläuft und
insbesondere gradlinig in den zentralen Kanalab-
schnitt (2c) übergeht. 10
6. Turbinenschaufel nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Einström-Kanalabschnitt (2a) an seiner zur Kalt-
gasseite gewandten Seite eine gradlinig verlaufende
Wandung besitzt, welche gegenüber der Längsach-
se (X) des Fluidkanals (2) geneigt ist, wobei der Nei-
gungswinkel insbesondere 10-20°, insbesondere et-
wa 10° beträgt. 20
7. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Einström-Kanalabschnitt (2a) an seiner zur Kalt-
gasseite gewandten Seite eine gekrümmte Wan-
dung besitzt. 25
8. Turbinenschaufel nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
die gekrümmte Wandung kreisbogenförmig ausge-
bildet ist. 30
9. Turbinenschaufel nach einem der vorherigen An-
sprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
in der Turbinenschaufelwand (1) ein Strömungskana-
l (6) ausgebildet ist, der vom Kühlfluid durchströmt
wird, und dass sich der Fluidkanal (2) an die strom-
abwärtige Stirnseite des Strömungskanals (6) an-
schließt, so dass Kühlfluid aus dem Strömungskanal
(6) in den Einström-Kanalabschnitt (2a) des Fluid-
kanals (2) zumindest im Wesentlichen gradlinig ein-
strömt. 35 40
10. Turbinenschaufel nach einem der vorherigen An-
sprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Ausström-Kanalabschnitt (2b) divergierend aus-
gebildet ist. 45 50
11. Turbinenschaufel nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
der zur Heißgasseite gewandte Wandbereich des
Ausströmkanalabschnitts (2b) in der Richtung der
Längsachse (X) des Fluidkanals (2) verläuft und
gradlinig in den zentralen Kanalabschnitt (2c) über-
geht. 55
12. Turbinenschaufel nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
der zur Heißgasseite gewandte Wandbereich des
Ausströmkanalabschnitts (2b) gegenüber der
Längsachse (X) des Fluidkanals (2) geneigt ist, so
dass der spitze Winkel (δ), den der Wandbereich mit
der von Heißgas überströmten Oberfläche der Tur-
binenschaufelwand (1) einschließt, größer ist als der
spitze Winkel (α), den die Längsachse (X) des Flu-
idkanals (2) mit der Außenfläche einschließt.
13. Turbinenschaufel nach einem der vorherigen An-
sprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der zur Kaltgasseite gewandte Wandbereich des
Ausströmkanalabschnitts (2b) gradlinig verläuft und
gegenüber der Längsachse (X) des Fluidkanals (2)
geneigt ist.

FIG 1

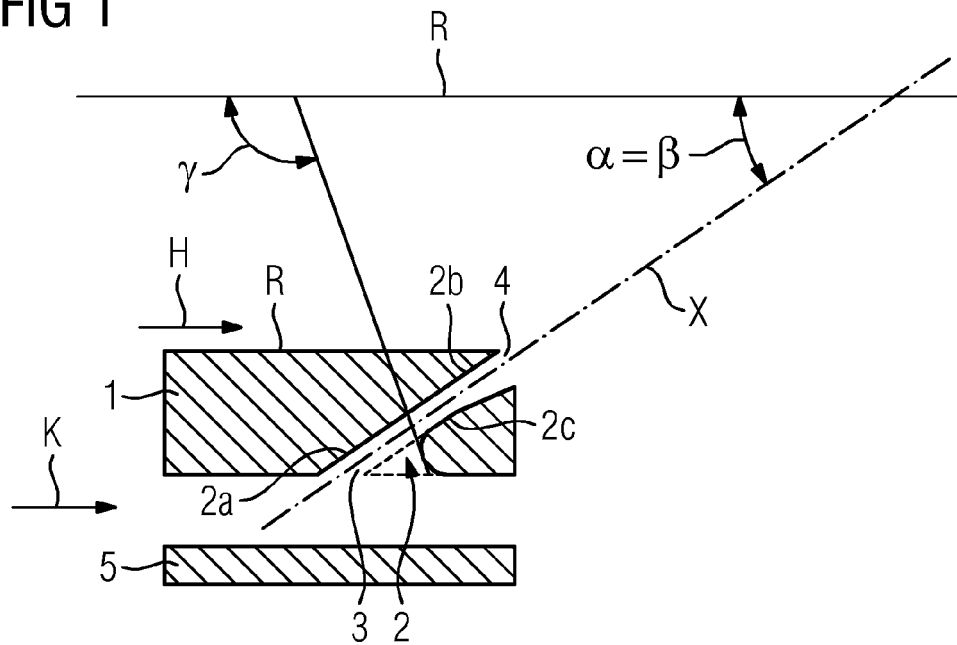


FIG 2

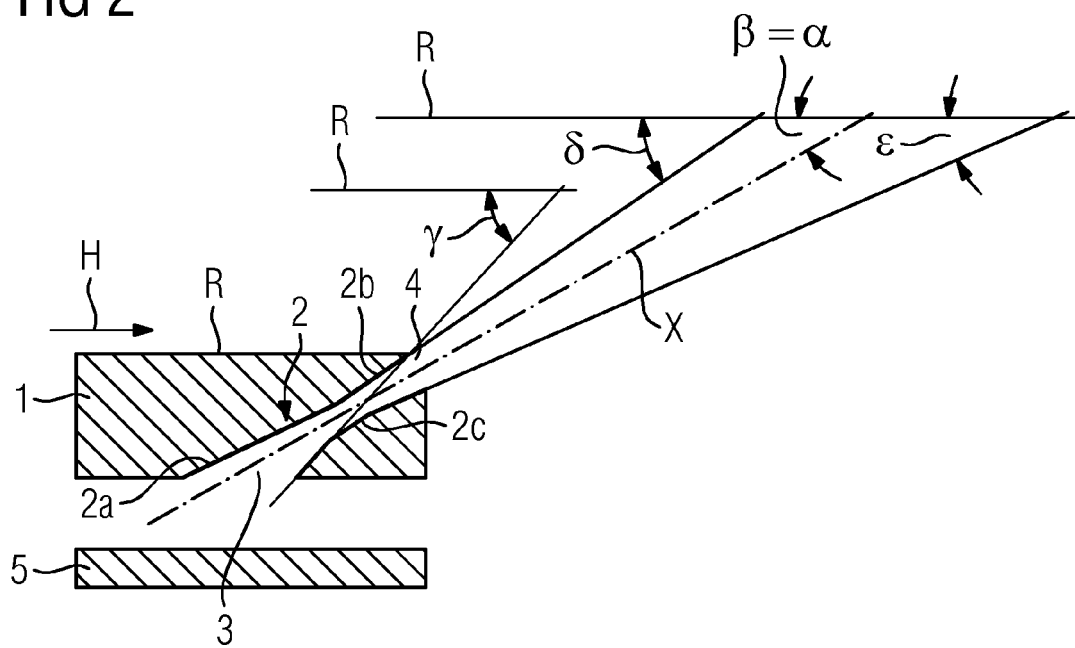


FIG 3

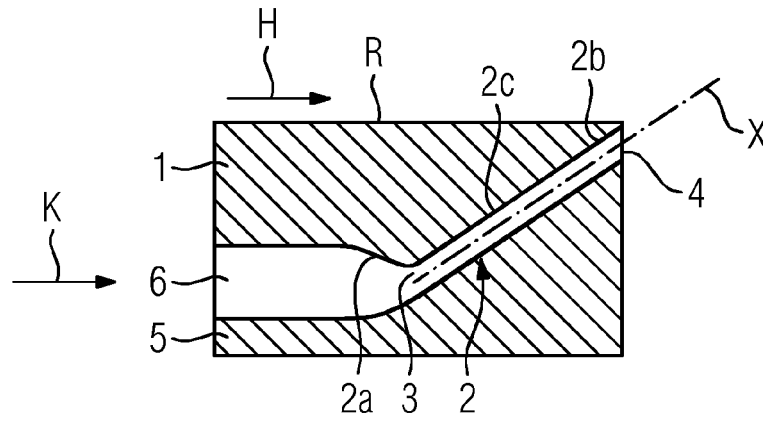


FIG 4

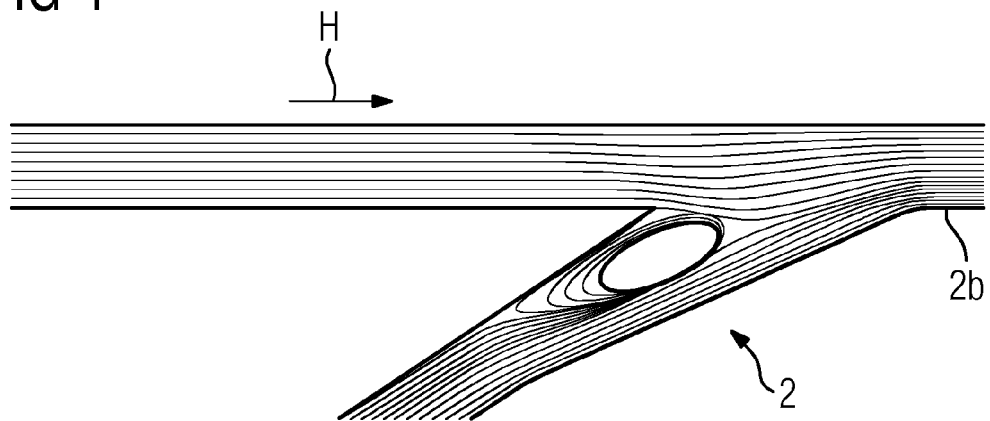


FIG 5

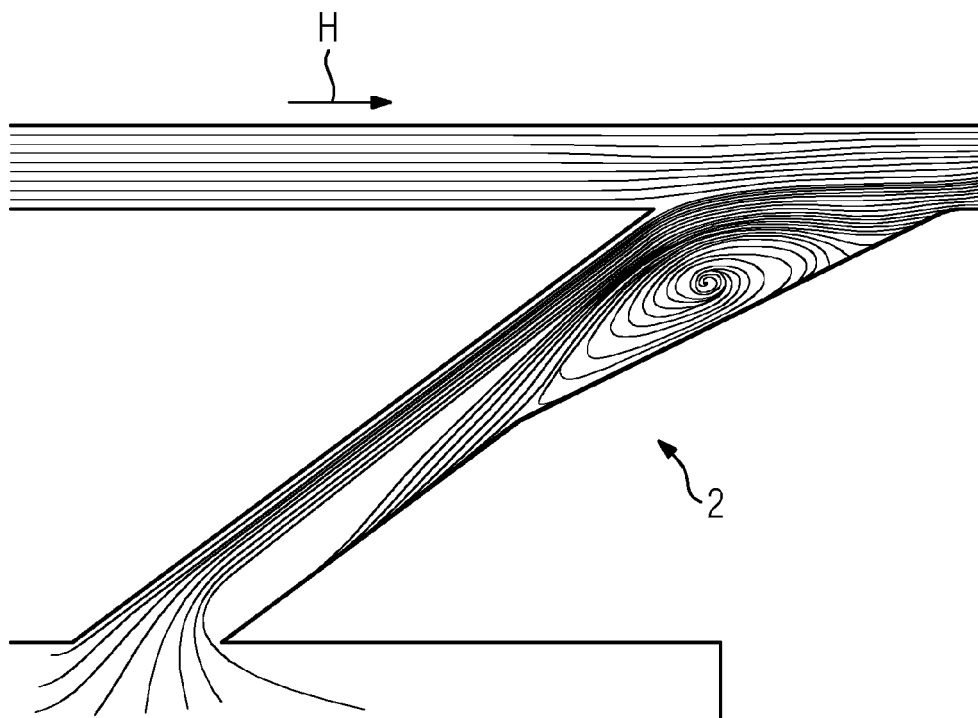
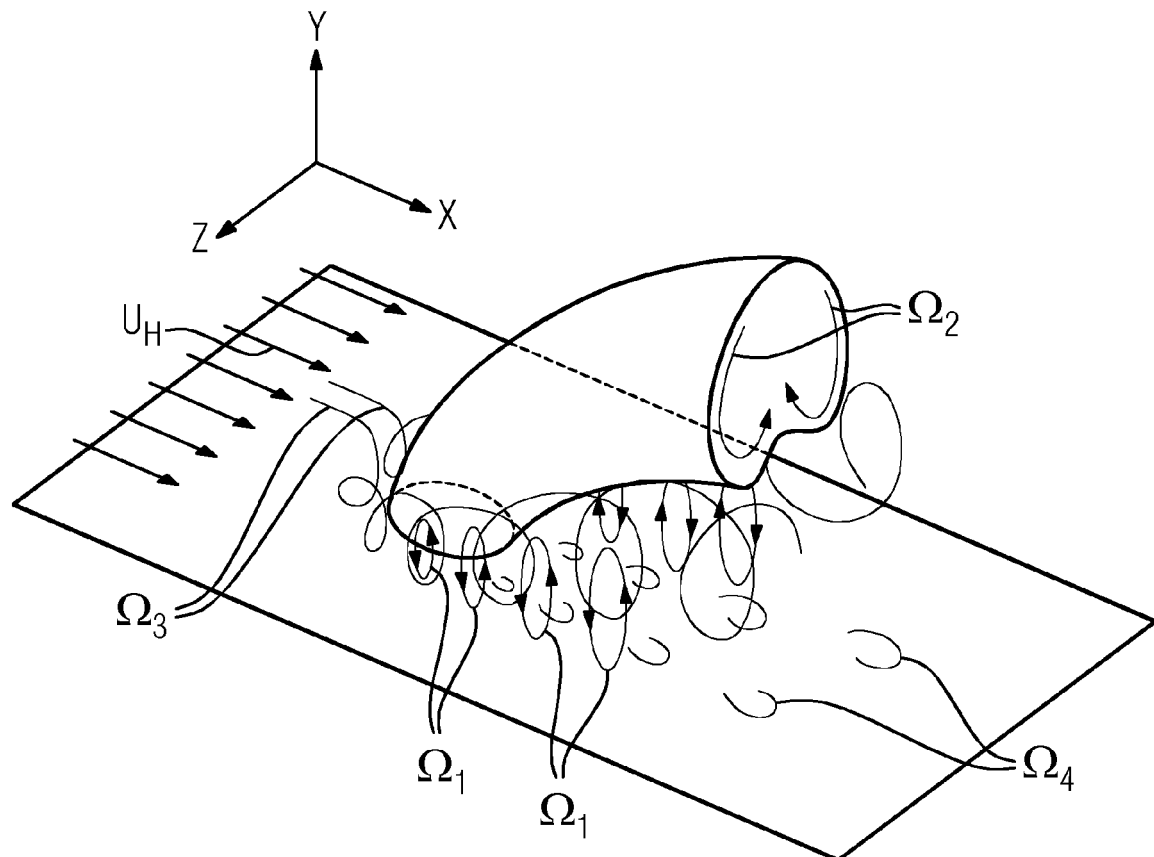


FIG 6





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 14 18 2283

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 2 568 118 A1 (SIEMENS AG [DE]) 13. März 2013 (2013-03-13) * Abbildung *	1-13	INV. F01D5/18
X	US 2013/209229 A1 (XU JINQUAN [US] ET AL) 15. August 2013 (2013-08-15) * Abbildung 3a *	1-13	
X	EP 2 584 148 A1 (SIEMENS AG [DE]) 24. April 2013 (2013-04-24) * Abbildung 1 *	1-13	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 26. Januar 2015	Prüfer Raspo, Fabrice
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 : nichtschriftliche 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	

 1
 EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 14 18 2283

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten
 Patentedokumente 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.

26-01-2015

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	EP 2568118	A1	13-03-2013	EP 2568118 A1		13-03-2013
				WO 2013037662 A1		21-03-2013
15	US 2013209229	A1	15-08-2013	EP 2815096 A1		24-12-2014
				US 2013209229 A1		15-08-2013
				WO 2013123008 A1		22-08-2013
20	EP 2584148	A1	24-04-2013	KEINE		
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

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

- WO 2013089255 A1 [0011]
- US 20090304499 A1 [0011]