

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 1 614 859 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**11.01.2006 Patentblatt 2006/02**

(51) Int Cl.:  
**F01D 5/18 (2006.01) F01D 9/04 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **04015805.7**

(22) Anmeldetag: **05.07.2004**

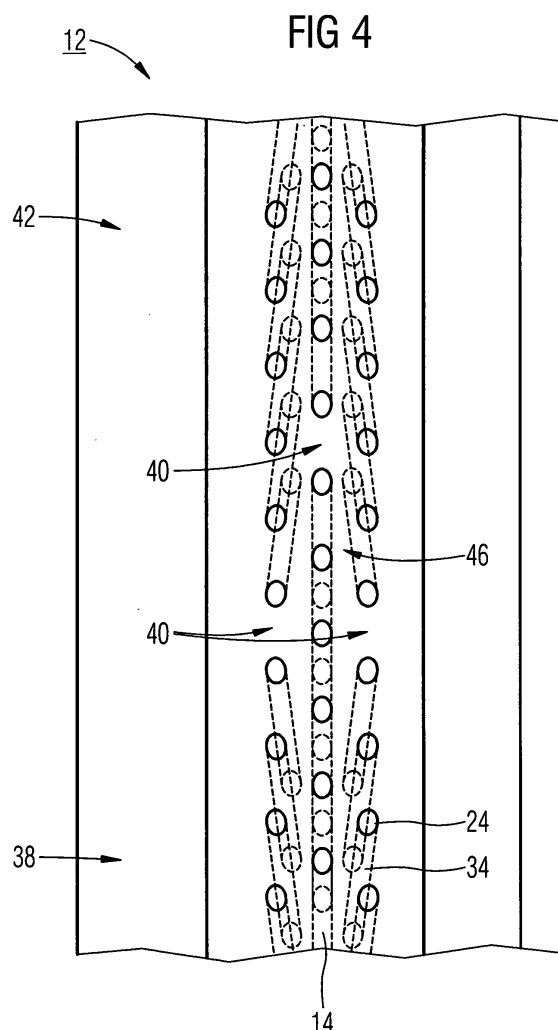
(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR**  
**HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**  
 Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL HR LT LV MK**

(72) Erfinder:  
 • **Bolms, Hans-Thomas, Dr.**  
**45481 Mühlheim (DE)**  
 • **Müsgen, Ralf**  
**45147 Essen (DE)**

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**  
**80333 München (DE)**

**(54) Filmgekühlte Turbinenschaufel**

(57) Eine Turbinenschaufel (2) mit einem Fußabschnitt (4), einem Spitzenabschnitt (6) und einem Schaufelblatt (12), das mit einer Anzahl von von einem Kühlmittel (K) durchströmbaren Kühlmittelkanälen (22) versehen ist, wobei von einem im Wesentlichen in Längsrichtung (L) der Turbinenschaufel (2) verlaufenden, zur Vorderkante (14) beabstandeten Kühlmittelkanal (22) im Vorderkantenbereich (28) des Schaufelblatts (12) in Austrittsöffnungen (24) mündende Austrittskanäle (34) abzweigen, wobei die Austrittsöffnungen (24) entlang von mindestens zwei im Wesentlichen parallel zur Vorderkante (14) ausgerichteten Reihen angeordnet sind, und wobei die Austrittskanäle (34) im Bereich ihrer jeweiligen Austrittsöffnung (24) schräg zur Längsrichtung (L) der Turbinenschaufel (2) ausgerichtet sind, derart, dass das in einem fußseitigen Teilabschnitt (38) jeder Reihe ausströmende Kühlmittel (K) im Bereich der Austrittsöffnungen (24) eine zum Spitzenabschnitt (6) der Turbinenschaufel (2) weisende Geschwindigkeitskomponente besitzt, und das in einem daran angrenzenden spitzenseitigen Teilabschnitt (42) jeder Reihe ausströmende Kühlmittel (K) eine zum Fußabschnitt (4) weisende Geschwindigkeitskomponente aufweist, ist für eine besonders zuverlässige und gleichmäßige Kühlung des Vorderkantenbereiches (28) bei gleichzeitig besonders gering gehaltenem Bedarf an Kühlmittel (K) ausgelegt. Dazu sind erfindungsgemäß die Übergangsstellen (40), in denen sich die Orientierung der Austrittskanäle (34) ändert, für je zwei benachbarte Reihen in Längsrichtung (L) gegeneinander versetzt angeordnet.

**EP 1 614 859 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf eine Turbinenschaufel zur Verwendung in einer Gasturbine mit einem Schaufelblatt, das mit einer Anzahl von von einem Kühlmittel durchströmbaren Kühlmittelkanälen versehen ist, wobei von einem im Wesentlichen in Längsrichtung der Turbinenschaufel verlaufenden, zur Vorderkante beabstandeten Kühlmittelkanal im Vorderkantenbereich des Schaufelblatts in Austrittsöffnungen mündende Austrittskanäle abzweigen.

**[0002]** Gasturbinen werden in vielen Bereichen zum Antrieb von Generatoren oder von Arbeitsmaschinen eingesetzt. Dabei wird der Energieinhalt eines Brennstoffs zur Erzeugung einer Rotationsbewegung einer Turbinenwelle benutzt. Der Brennstoff wird dazu in einer Brennkammer verbrannt, wobei von einem Luftverdichter verdichtete Luft zugeführt wird. Das in der Brennkammer durch die Verbrennung des Brennstoffs erzeugte, unter hohem Druck und unter hoher Temperatur stehende Arbeitsmedium wird dabei über eine der Brennkammer nachgeschaltete Turbineneinheit geführt, wo es sich arbeitsleistend entspannt.

**[0003]** Zur Erzeugung der Rotationsbewegung der Turbinenwelle sind dabei an dieser eine Anzahl von üblicherweise in Schaufelgruppen oder Schaufelreihen zusammengefassten Laufschaufeln angeordnet, die über einen Impulsübertrag aus dem Strömungsmedium die Turbinenwelle antreiben. Zur Führung des Strömungsmediums in der Turbineneinheit sind zudem üblicherweise zwischen benachbarten Laufschaufelreihen mit dem Turbinengehäuse verbundene Leitschaufelreihen angeordnet. Die Turbinenschaufeln, insbesondere die Leitschaufeln, weisen dabei üblicherweise zur geeigneten Führung des Arbeitsmediums ein entlang einer Schaufelachse erstrecktes Schaufelblatt auf, an das endseitig zur Befestigung der Turbinenschaufel am jeweiligen Trägerkörper eine sich quer zur Schaufelachse erstreckende Plattform angeformt sein kann. Aber auch am anderen, freien Ende kann eine Plattform oder eine plattformähnliche Ausformung angebracht sein.

**[0004]** Bei der Auslegung derartiger Gasturbinen ist zusätzlich zur erreichbaren Leistung üblicherweise ein besonders hoher Wirkungsgrad ein Auslegungsziel. Eine Erhöhung des Wirkungsgrades lässt sich dabei aus thermodynamischen Gründen grundsätzlich durch eine Erhöhung der Austrittstemperatur erreichen, mit dem das Arbeitsmedium aus der Brennkammer ab- und in die Turbineneinheit einströmt. Daher werden Temperaturen von etwa 1200 °C bis 1300 °C für derartige Gasturbinen angestrebt und auch erreicht.

**[0005]** Bei derartig hohen Temperaturen des Arbeitsmediums sind jedoch die diesem ausgesetzten Komponenten und Bauteile hohen thermischen Belastungen ausgesetzt. Um dennoch bei hoher Zuverlässigkeit eine vergleichsweise lange Lebensdauer der betroffenen Komponenten zu gewährleisten, ist üblicherweise eine Kühlung der betroffenen Komponenten, insbesondere

von Lauf- und/oder Leitschaufeln der Turbineneinheit, vorgesehen. Die Turbinenschaufeln sind dabei üblicherweise kühlbar ausgebildet, wobei insbesondere eine wirksame und zuverlässige Kühlung der im besonderen Maße thermisch belasteten Vorderkante der jeweiligen Turbinenschaufel sichergestellt sein soll.

**[0006]** Als Kühlmittel kommt dabei üblicherweise Kühlluft zum Einsatz. Diese wird der jeweiligen Turbinenschaufel üblicherweise in der Art einer offenen Kühlung über eine Anzahl von in das Schaufelblatt oder das Schaufelprofil integrierten Kühlmittelkanälen zugeführt. Von diesen ausgehend durchströmt die Kühlluft in davon abzweigenden Austrittskanälen die jeweils vorgesehenen Bereiche der Turbinenschaufel, wodurch eine konvektive Kühlung des Schaufelinneren und der Schaufelwand erreicht wird. Austrittsseitig sind diese Kanäle offen gelassen, so dass die Kühlluft nach dem Durchströmen der Turbinenschaufel aus den auch als Filmkühllöcher bezeichneten Austrittsöffnungen austritt und einen Kühlluftfilm auf der Oberfläche des Schaufelblattes ausbildet. Durch diesen Kühlluftfilm ist das Material an der Oberfläche vor einem direkten und allzu intensiven Kontakt mit dem mit hoher Geschwindigkeit vorbeiströmenden heißen Arbeitsmedium weitgehend geschützt.

**[0007]** Um im Vorderkantenbereich des Schaufelblatts eine besonders gleichmäßige und effektive Filmkühlung zu ermöglichen, sind die Austrittsöffnungen dort üblicherweise gleichmäßig entlang von mindestens zwei parallel zur Vorderkante ausgerichteten Reihen angeordnet. Die Austrittskanäle sind zudem in der Regel schräg zur Längsrichtung der Turbinenschaufel ausgerichtet, was die Ausbildung des schützenden, an der Oberfläche entlangströmenden Kühlluftfilms unterstützt. Da die Austrittskanäle bei der Herstellung der Turbinenschaufel aus Kostengründen normalerweise erst zum Schluss von außen eingebracht werden, z. B. durch Laserbohrung oder andere Bohrverfahren, und insbesondere im Vorderkantenbereich des Schaufelblattes der Zugang der Bohrinstrumente durch die endseitig angeformten Plattformen oder plattformähnlichen Ausformungen möglicherweise behindert ist, kommt es bzgl. der schrägen Anstellung der Austrittskanäle oftmals an einer etwa mittig zwischen Fußabschnitt und Spitzenabschnitt des jeweiligen Schaufelblattes liegenden Übergangsstelle zu einem Orientierungswechsel. Dies geschieht in der Weise, dass das in einem fußseitigen Teilabschnitt jeder Reihe ausströmende Kühlmittel im Bereich der Austrittsöffnungen eine zum Spitzenabschnitt weisende Geschwindigkeitskomponente besitzt, das in einem daran angrenzenden spitzenseitigen Teilabschnitt jeder Reihe ausströmende Kühlmittel hingegen eine zum Fußabschnitt weisende Geschwindigkeitskomponente aufweist. Mit anderen Worten: Im fußseitigen Teilabschnitt sind die Austrittskanäle in Erstreckungsrichtung der Turbinenschaufel geneigt, wohingegen sie im spitzenseitigen Teilabschnitt entgegen der Erstreckungsrichtung geneigt sind.

**[0008]** Eine derartige Anordnung der Austrittskanäle kann jedoch auch Nachteile nach sich ziehen. Erfolgt der

Wechsel ihrer Orientierung und die damit verbundene Änderung des Abzweigungswinkels gegenüber dem in Längsrichtung verlaufenden, zur Vorderkante korrespondierenden Kühlmittelkanal in einer örtlich gesehen abrupten Weise, so sind an der Übergangsstelle möglicherweise verhältnismäßig große Bereiche zwischen der Vorderkante und dem Kühlmittelkanal nicht von Austrittskanälen durchzogen und daher auch nicht konvektiv gekühlt. Dieser Mangel muss dann gegebenenfalls durch den gezielt vermehrten Einsatz von Kühlluft ausgeglichen werden. Erfolgt die Orientierungsänderung der Austrittskanäle stattdessen vergleichsweise kontinuierlich, so wird im Übergangsbereich die Ausbildung eines an der Oberfläche des Schaufelblatts entlangströmenden Films aus Kühlluft erschwert, da die Kühlluft dort beinahe senkrecht zur Oberfläche aus den Filmkühlhöchern austritt und somit die Tendenz besitzt, sich von ihr abzulösen. Auch in diesem Fall muss vermehrt Kühlluft zugeführt werden, was wiederum Verluste im verfügbaren Verdichtermassenstrom bedeutet und den Wirkungsgrad der Gasturbine vermindert.

**[0009]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Turbinenschaufel der oben genannten Art anzugeben, für die mit einfachen Mitteln eine besonders zuverlässige und gleichmäßige Kühlung des Vorderkantenbereiches bei gleichzeitig besonders gering gehaltenem Bedarf an Kühlluft erreichbar ist.

**[0010]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst, indem die Übergangsstellen, in denen sich die Orientierung der Austrittskanäle ändert, für je zwei benachbarte Reihen in Längsrichtung gegeneinander versetzt angeordnet sind.

**[0011]** Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass das aus den Austrittsöffnungen im Vorderkantenbereich des Schaufelblatts austretende Kühlmedium zur Bildung eines effektiven Kühlfilms eine möglichst große Geschwindigkeitskomponente parallel zur Oberfläche aufweisen sollte. Aus diesem Grunde sollte die bewährte, schräg zur Längsrichtung verlaufende Ausrichtung der Austrittskanäle beibehalten werden. Im Hinblick auf die bei der Herstellung des Schaufelblatts gegebenen, den Zugang und die Orientierung der Produktionswerkzeuge betreffenden Beschränkungen ist auch weiterhin ein Orientierungswechsel der beschriebenen Art für die in den Austrittsöffnungen mündenden Austrittskanäle entlang jeder der Reihen, in denen die Austrittsöffnungen angeordnet sind, wünschenswert. Andererseits sollten Bereiche mit vergleichsweise stark verminderter Häufigkeitsdichte der Austrittskanäle in der Schaufelwand vermieden werden. Dazu ist auszuschließen, dass die zu benachbarten Reihen gehörigen Lücken oder Zwischenräume im ansonsten vergleichsweise regelmäßigen Verteilungsmuster der Austrittskanäle direkt nebeneinander zu liegen kommen.

**[0012]** Dies wird dadurch erreicht, dass die zugehörigen Übergangsstellen für je zwei benachbarte Reihen in Längsrichtung gegeneinander versetzt angeordnet sind. Die Versetzung bewirkt nämlich gerade eine lokale Ver-

schränkung der zu je zwei benachbarten Reihen gehörigen Austrittskanäle und somit im Hinblick auf die Gesamtheit aller Reihen eine vergleichsweise homogene Verteilung der Austrittskanäle über den gesamten Vorderkantenbereich des Schaufelblatts. Daher ist in diesem Bereich auch eine vergleichsweise gute und effektive konvektive Kühlung des Schaufelinneren gewährleistet, so dass eine örtliche Überbeanspruchung des Materials durch Überhitzung vermieden wird. Gegenüber bekannten Ausführungen kann der Bedarf an Kühlmedium vergleichsweise gering gehalten werden, was sich leistungsförderlich für eine mit derartigen Turbinenschaufeln ausgestattete Gasturbine auswirkt.

**[0013]** Ein für eine effektive Filmkühlung besonders günstiges Strömungsverhalten des austretenden Kühlmediums in der Nähe der Vorderkante in Kombination mit einer guten konvektiven Kühlung der angrenzenden Schaufelwand ist erreichbar, indem die Austrittsöffnungen im gesamten Vorderkantenbereich in einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ungefähr gleichmäßig verteilt sind, derart, dass sie auf den Eckpunkten eines gedachten, um die Vorderkante des Schaufelblatts gebogenen, regelmäßigen Gitternetzes liegen. Dies bewirkt eine besonders homogene Benetzung der Schaufeloberfläche mit Kühlmittel.

**[0014]** Die Anstellwinkel der Austrittskanäle gegenüber der Längsrichtung sind für die fußseitigen und spitzenseitigen Teilabschnitte aller Reihen von Austrittsöffnungen vorzugsweise jeweils ungefähr gleich groß. Dabei kann ein für den Effekt der Filmkühlung optimierter Wert, der aus Versuchen oder Berechnungen bekannt ist, eingestellt werden.

**[0015]** Das Konzept der abschnittsweisen Verschränkung benachbarter Filmkühlreihen lässt sich bei beliebig vielen nebeneinander liegenden Reihen anwenden. Da allerdings der Krümmungsradius eines Schaufelblatts in der Umgebung der Vorderkante häufig verhältnismäßig klein ist, können dann nur wenige Reihen von Austrittsöffnungen im Vorderkantenbereich untergebracht werden. Eine gleichmäßige und hinsichtlich des Kühlmittelverbrauchs besonders sparsame Kühlung der Vorderkante lässt sich jedoch bereits in einer bevorzugten Ausgestaltung mit drei Reihen erreichen. Bei dieser Variante sind die zu den beiden äußeren Reihen gehörigen Übergangsstellen in Bezug auf die Längsrichtung zweckmäßigerweise gleich und damit symmetrisch zur mittleren Reihe angeordnet.

**[0016]** Vorteilhafterweise ist die zur mittleren Reihe gehörige Übergangsstelle in diesem Fall gegenüber den beiden äußeren Reihen um drei Austrittsöffnungen verschoben. Bei dieser Wahl liegt einerseits eine verhältnismäßig gute Durchdringung der Schaufelwand im Vorderkantenbereich mit Austrittskanälen vor, andererseits ist der gegenseitige Versatz noch gering genug, so dass sich die im Verschränkungsbereich in gegenläufiger Richtung austretenden Luftströme nur unwesentlich gegenseitig irritieren.

**[0017]** Besonders vorteilhaft ist diese optimierte An-

ordnung von Filmkühlbohrungen im Fall einer für eine Verwendung in einer Gasturbine vorgesehenen Leitschaufel, die sowohl am fußseitigen als auch am spitzenseitigen Ende von möglicherweise voluminösen und massiven Plattformen abgeschlossen ist, welche den Zugang von Bohrwerkzeugen zur Herstellung der Austrittskanäle in besonderem Maße behindern.

**[0018]** Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass durch die Versetzung der Übergangsstellen, in denen sich die Orientierung der Austrittskanäle in Bezug auf die Längsrichtung ändert, eine mit geringem Aufwand herzustellende Turbinenschaufel angegeben ist, die im Bereich der besonders beanspruchten Vorderkante sowohl auf der Oberfläche durch einen gleichmäßigen Kühlluftfilm als auch im Innenbereich durch Konvektion von Kühlluft in den annähernd homogen und ohne Lücken von größerer Ausdehnung verteilten Austrittskanälen vor übermäßiger Beanspruchung durch Erhitzung während des Betriebs in einer Gasturbine geschützt ist. Dadurch kann Kühlluft eingespargt werden, was den Wirkungsgrad der Gasturbine erhöht.

**[0019]** Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

- FIG 1 eine teilgeschnittene Seitenansicht einer Turbinenschaufel,
- FIG 2 einen Teil-Querschnitt durch die Turbinenschaufel nach FIG 1,
- FIG 3 einen Teil-Längsschnitt durch die Turbinenschaufel nach FIG 1 und
- FIG 4 eine teilgeschnittene Ansicht der Vorderkante der Turbinenschaufel nach FIG 1.

**[0020]** Gleiche Teile sind in allen Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.

**[0021]** Die Turbinenschaufel 2 nach FIG 1 ist als Leitschaufel für eine hier nicht weiter dargestellte Gasturbine ausgebildet. Sie umfasst einen Fußabschnitt 4 und einen Spitzenabschnitt 6 mit dazugehörigen Plattformen 8, 10 und einem dazwischenliegenden, sich in Längsrichtung L erstreckenden Schaufelblatt 12. Das profilierte Schaufelblatt 12 weist eine sich ebenfalls im Wesentlichen in Längsrichtung L erstreckende Vorderkante 14 und eine Hinterkante 16 mit dazwischenliegenden Seitenwänden 18 auf. Die Turbinenschaufel 2 wird über den Fußabschnitt 4 am Innengehäuse der Turbine fixiert, wobei die zugehörige Plattform 8 ein den Strömungsweg des Arbeitsmediums in der Gasturbine begrenzendes Wandelement bildet. Die der Turbinenwelle gegenüberliegende spitzenseitige Plattform 10 bildet eine weitere Begrenzung für das strömende Arbeitsmedium. Die Turbinenschaufel 2 könnte alternativ auch als Laufschaufel ausgebildet sein, die in analoger Weise über eine auch als Schaufelfuß bezeichnete fußseitige Plattform 8 an der

Turbinenwelle befestigt ist.

**[0022]** Über eine Anzahl von am unteren Ende des Fußabschnitts 4 angeordneten Einlassöffnungen 20 wird ein Kühlmittel K ins Schaufelinnere eingebracht. Es sind jedoch auch Konzepte bekannt, bei denen die Zuleitung des Kühlmittels K über die spitzenseitige Plattform 10 erfolgt. Üblicherweise handelt es sich beim Kühlmittel K um Kühlluft. Nachdem das Kühlmittel K einen oder mehrere sich an die Einlassöffnungen 20 anschließende Kühlmittelkanäle 22 im Inneren der Turbinenschaufel 2 durchströmt hat, tritt es aus einer Anzahl von auch als Filmkühllöcher bezeichneten, mit den Kühlmittelkanälen 22 korrespondierenden Austrittsöffnungen 24 im Bereich des Schaufelblatts 12 aus. Unterschiedliche Bereiche des Schaufelblattes 12 stellen dabei im Hinblick auf die verschiedenartige thermische und mechanische Belastung sowie die jeweiligen Platzverhältnisse im Schaufelinneren an die Anordnung und die Gestaltung der Filmkühllöcher ganz unterschiedliche Anforderungen. Insbesondere der sich an die Vorderkante 14 des Schaufelblatts 12 unmittelbar anschließende, vergleichsweise stark gekrümmte Vorderkantenbereich 28 bedarf aufgrund einer relativ hohen Belastung einer wirkungsvollen Kühlung.

**[0023]** FIG 2 zeigt den vorderen Bereich des profilierten Schaufelblatts 12 mit dem die Vorderkante 14 umfassenden, verhältnismäßig stark gekrümmten Vorderkantenbereich 28, an den sich Druckseite 30 und Saugseite 32 anschließen. Von einem im Wesentlichen in Längsrichtung L der Turbinenschaufel 2 verlaufenden, zur Vorderkante 14 beabstandeten Kühlmittelkanal 22 zweigen Austrittskanäle 34 von kleinerem Querschnitt ab, welche die Schaufelwand 36 durchdringen und im Vorderkantenbereich 28 in Austrittsöffnungen 24 oder Filmkühlöchern münden. Durch die Durchströmung der Austrittskanäle 34 mit Kühlmittel K wird eine Kühlung der angrenzenden Gebiete der Schaufelwand 36 erreicht. Zu dieser konvektiven Kühlung des Schaufelinneren tritt der durch die aus den Austrittsöffnungen 24 ausströmende Kühlluft verursachte Effekt der Filmkühlung auf der Oberfläche des Schaufelblatts 12 auf. Dabei bildet sich auf der Oberfläche durch die mit verhältnismäßig geringer Geschwindigkeit an ihr entlangströmende Kühlluft gewissermaßen ein Luftpolster bzw. ein Schutzfilm aus, der einen direkten Kontakt der Schaufeloberfläche mit dem eine hohe Strömungsgeschwindigkeit aufweisenden Arbeitsmedium verhindert.

**[0024]** Um einerseits eine gleichmäßige konvektive Kühlung der Schaufelwand 36 zu ermöglichen und andererseits die Ausbildung eines kontinuierlichen Kühlluftfilms zu begünstigen, sind die Austrittsöffnungen 24 im Ausführungsbeispiel entlang von drei parallel zur Vorderkante 14 ausgerichteten Reihen angeordnet, derart, dass sie ein regelmäßiges Gittermuster bilden. Außerdem sind die Austrittskanäle 34 gegenüber der Längsrichtung L der Turbinenschaufel 2 geneigt, so dass sich im Bereich ihrer Austrittsöffnungen 24 für das ausströmende Kühlmittel K ein flacher Austrittswinkel bzgl. der

Schaufeloberfläche ergibt. Dies wirkt sich ebenfalls günstig auf die Entstehung eines schützenden Kühlluftfilms aus. Wie man dem Längsschnitt entlang der mittleren Reihe von Austrittsöffnungen 24 gemäß FIG 3 entnehmen kann, existieren die Neigung der Austrittskanäle 34 betreffend zwei unterschiedliche Teilabschnitte. In einem fußseitigen Teilabschnitt 38 der dargestellten Reihe sind sie derart geneigt, dass das aus den Austrittsöffnungen 24 ausströmende Kühlmittel K eine zum Spitzenabschnitt 6 der Turbinenschaufel 2 weisende Geschwindigkeitskomponente besitzt. An einer angrenzenden Übergangsstelle 40 ändert sich die Orientierung der Austrittskanäle 34, so dass das aus dem spitzenseitigen Teilabschnitt 42 der Reihe ausströmende Kühlmittel K eine zum Fußabschnitt 4 gerichtete Geschwindigkeitskomponente aufweist. Dieser Orientierungswechsel ist durch den aufgrund der Plattformen 8, 10 beschränkten Zugang der Bohrwerkzeuge bei der Herstellung der Turbinenschaufel 2 bedingt und zieht das Vorhandensein einer vergleichsweise großen Lücke 44 in der ansonsten gleichmäßig von Austrittskanälen 34 durchzogenen Schaufelwand 36 nach sich. Das eben gesagte gilt sinngemäß für jede der drei im Vorderkantenbereich 28 des Schaufelblatts 12 angeordneten Reihen von Austrittsöffnungen 24.

**[0025]** Die Turbinenschaufel 2 ist für eine besonders zuverlässige Kühlung des Vorderkantenbereiches 28 bei gleichzeitig besonders gering gehaltenem Bedarf an Kühlmittel K spezifisch ausgelegt. Dazu sind die genannten Übergangsstellen 40 in der Art einer abschnittsweise verschränkten Anordnung benachbarter Filmkühlreihen zueinander versetzt positioniert. Die teilgeschnittene perspektivische Ansicht der Vorderkante 14 in FIG 4 zeigt nämlich, dass die zur mittleren Reihe gehörige Übergangsstelle 40, in der sich die Orientierung der Austrittskanäle 34 ändert, gegenüber den beiden äußeren Reihen in Längsrichtung L verschoben ist. Die Verschiebung beträgt hier im Ausführungsbeispiel drei Gitterpunkte. Dadurch sind auch die zu jeweils zwei benachbarten Reihen gehörigen Lücken 44 bezüglich der Austrittskanäle 34 soweit gegeneinander versetzt angeordnet, dass im gesamten Verschränkungsgebiet 46 insgesamt eine vergleichsweise gute Durchdringung der Schaufelwand 36 mit Austrittskanälen 34 und somit auch eine vergleichsweise gute konvektive Kühlung sichergestellt ist. Da auf der anderen Seite die gegenseitige Verschiebung der Übergangsstellen 40 nicht wesentlich größer als das zu diesem Zweck notwendige Mindestmaß gewählt ist, wird auch die Verwirbelung des auf der Oberfläche strömenden Kühlluftfilms aufgrund der in diesem Abschnitt gegeneinander gerichteten Luftströme auf ein notwendiges Minimum beschränkt.

**[0026]** Damit ist eine sowohl hinsichtlich der konvektiven Kühlung der Schaufelwand 36 als auch hinsichtlich der Filmkühlung auf der Oberfläche optimierte Anordnung von Austrittskanälen 34 und zugehörigen Austrittsöffnungen 24 geschaffen, die sich gegenüber den bekannten Lösungen durch einen verringerten Verbrauch

von Kühlmittel K auszeichnet und somit den Wirkungsgrad einer mit derartigen Turbinenschaufeln 2 ausgestatteten Gasturbine erhöht.

## Patentansprüche

1. Turbinenschaufel (2) mit einem Fußabschnitt (4), einem Spitzenabschnitt (6) und einem Schaufelblatt (12), das mit einer Anzahl von von einem Kühlmittel (K) durchströmbaren Kühlmittelkanälen (22) versehen ist, wobei von einem im Wesentlichen in Längsrichtung (L) der Turbinenschaufel (2) verlaufenden, zur Vorderkante (14) beabstandeten Kühlmittelkanal (22) im Vorderkantenbereich (28) des Schaufelblatts (12) in Austrittsöffnungen (24) mündende Austrittskanäle (34) abzweigen, wobei die Austrittsöffnungen (24) entlang von mindestens zwei im Wesentlichen parallel zur Vorderkante (14) ausgerichteten Reihen angeordnet sind, und wobei die Austrittskanäle (34) im Bereich ihrer jeweiligen Austrittsöffnung (24) schräg zur Längsrichtung (L) der Turbinenschaufel (2) ausgerichtet sind, derart, dass das in einem fußseitigen Teilabschnitt (38) jeder Reihe ausströmende Kühlmittel (K) im Bereich der Austrittsöffnungen (24) eine zum Spitzenabschnitt (6) der Turbinenschaufel (2) weisende Geschwindigkeitskomponente besitzt, und das in einem daran angrenzenden spitzenseitigen Teilabschnitt (42) jeder Reihe ausströmende Kühlmittel (K) eine zum Fußabschnitt (4) weisende Geschwindigkeitskomponente aufweist,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** die Übergangsstellen (40), in denen sich die Orientierung der Austrittskanäle (34) ändert, für je zwei benachbarte Reihen in Längsrichtung (L) gegeneinander versetzt angeordnet sind.
2. Turbinenschaufel (2) nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** die Austrittsöffnungen (24) im Vorderkantenbereich (28) ungefähr auf den Gitterpunkten eines regelmäßigen Gitternetzes liegen.
3. Turbinenschaufel (2) nach Anspruch 1 oder 2,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** die Anstellwinkel der Austrittskanäle (34) gegenüber der Längsrichtung (L) für die fußseitigen und die spitzenseitigen Teilabschnitte (38, 42) aller Reihen von Austrittsöffnungen (24) jeweils ungefähr gleich groß sind.
4. Turbinenschaufel (2) nach Anspruch 3, mit zumindest drei Reihen von Austrittsöffnungen (24),  
**dadurch gekennzeichnet, dass** die zu den beiden äußeren Reihen gehörigen Übergangsstellen (40) in Bezug auf die Längsrichtung (L)

gleich angeordnet sind.

5. Turbinenschaufel (2) nach Anspruch 4,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** 5  
die zur mittleren Reihe gehörige Übergangsstelle  
(40) gegenüber den beiden äußeren Reihen um drei  
Austrittsöffnungen (24) verschoben ist.
6. Turbinenschaufel (2) nach einem der Ansprüche 1  
bis 5, 10  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
sie als Leitschaufel ausgeführt ist.
7. Gasturbine, 15  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
mindestens eine der Turbinenschaufeln (2) nach ei-  
nem der Ansprüche 1 bis 6 ausgeführt ist.

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

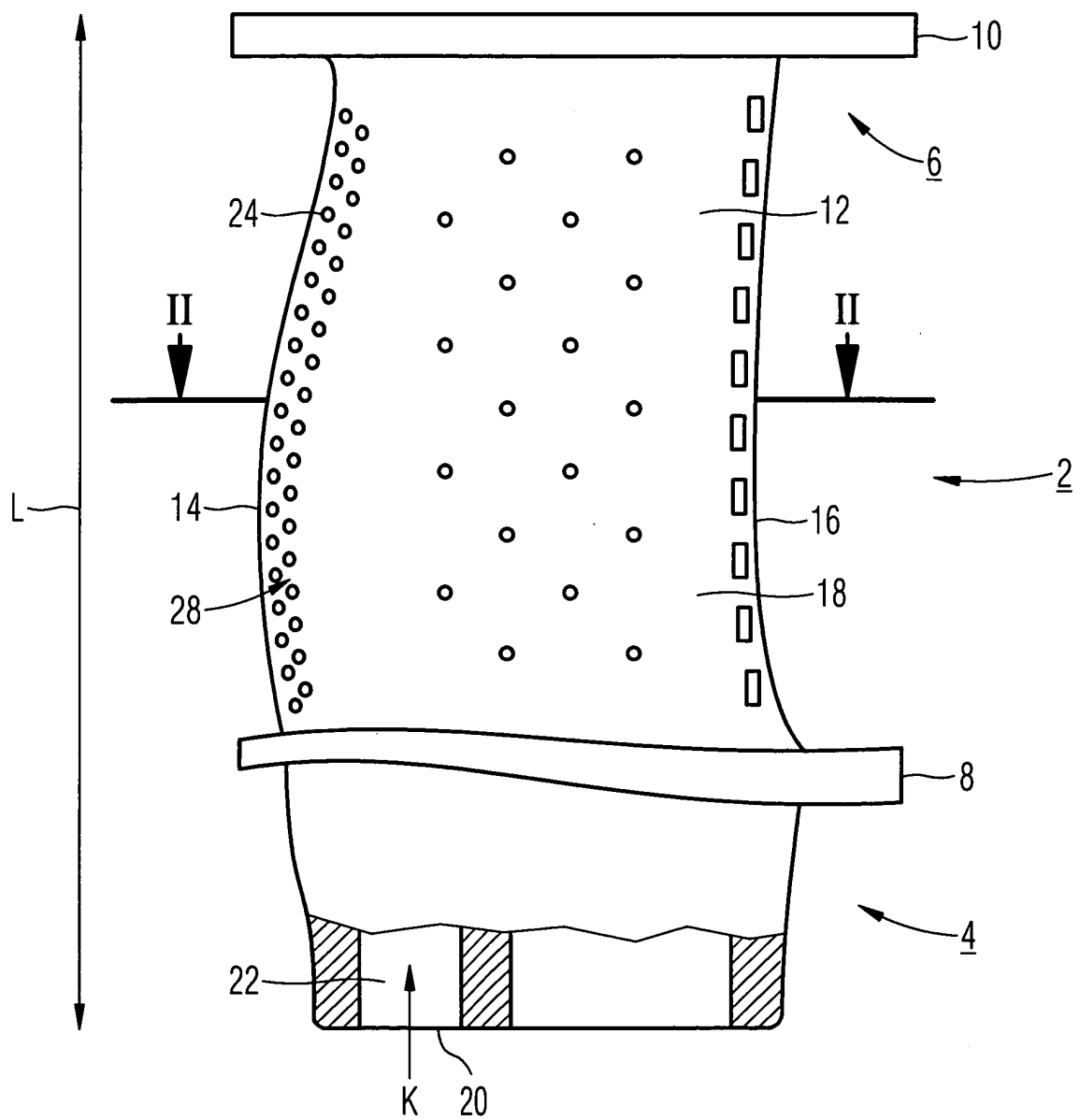


FIG 2

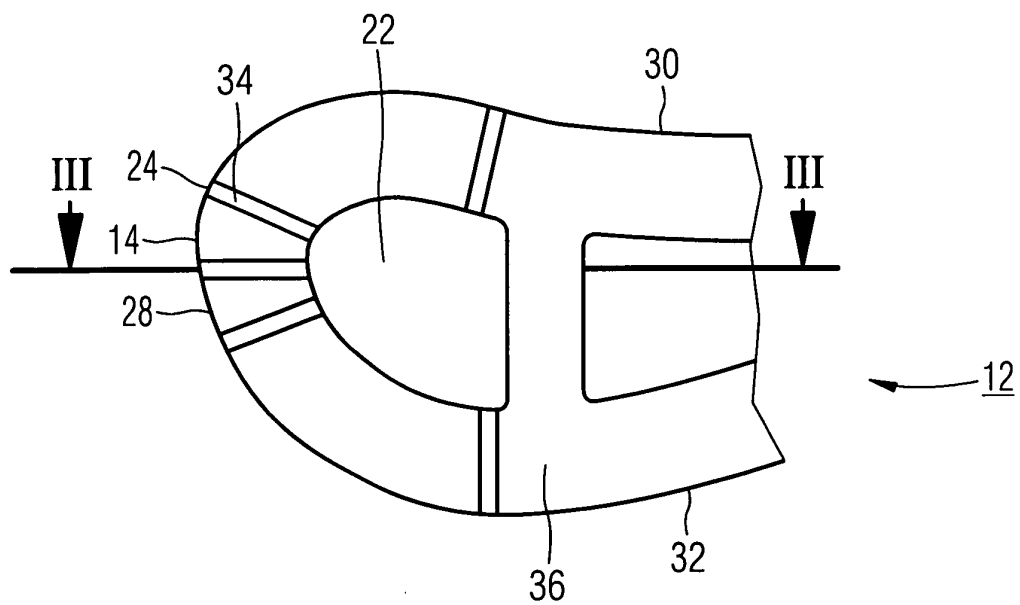


FIG 3

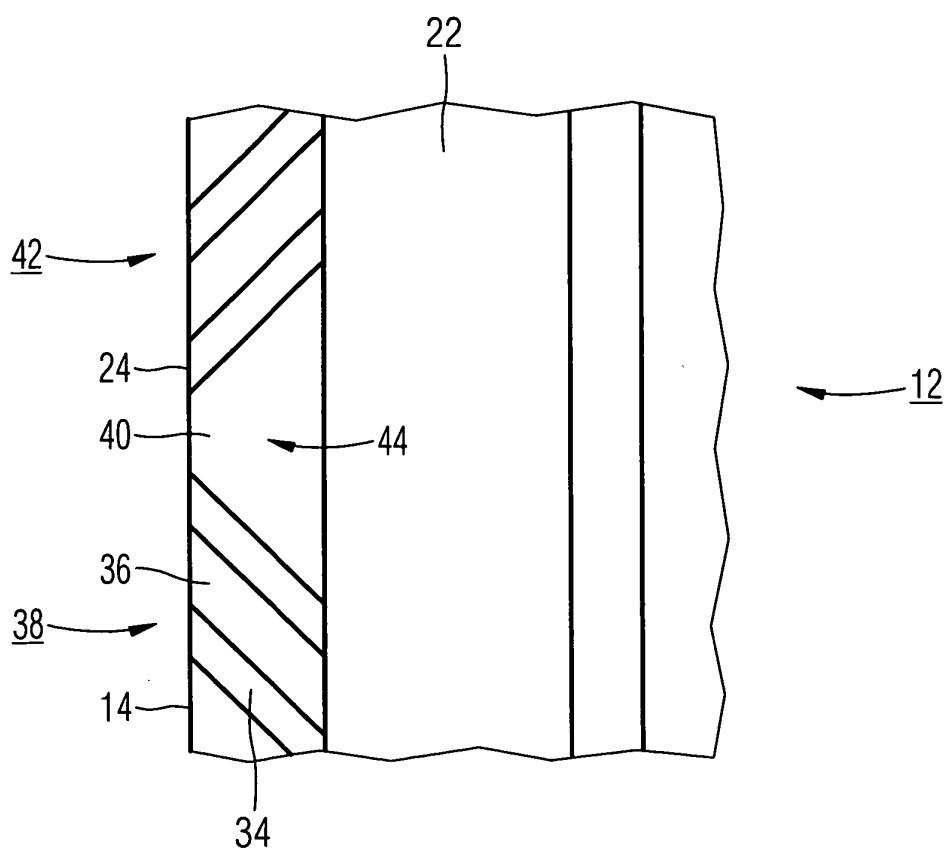
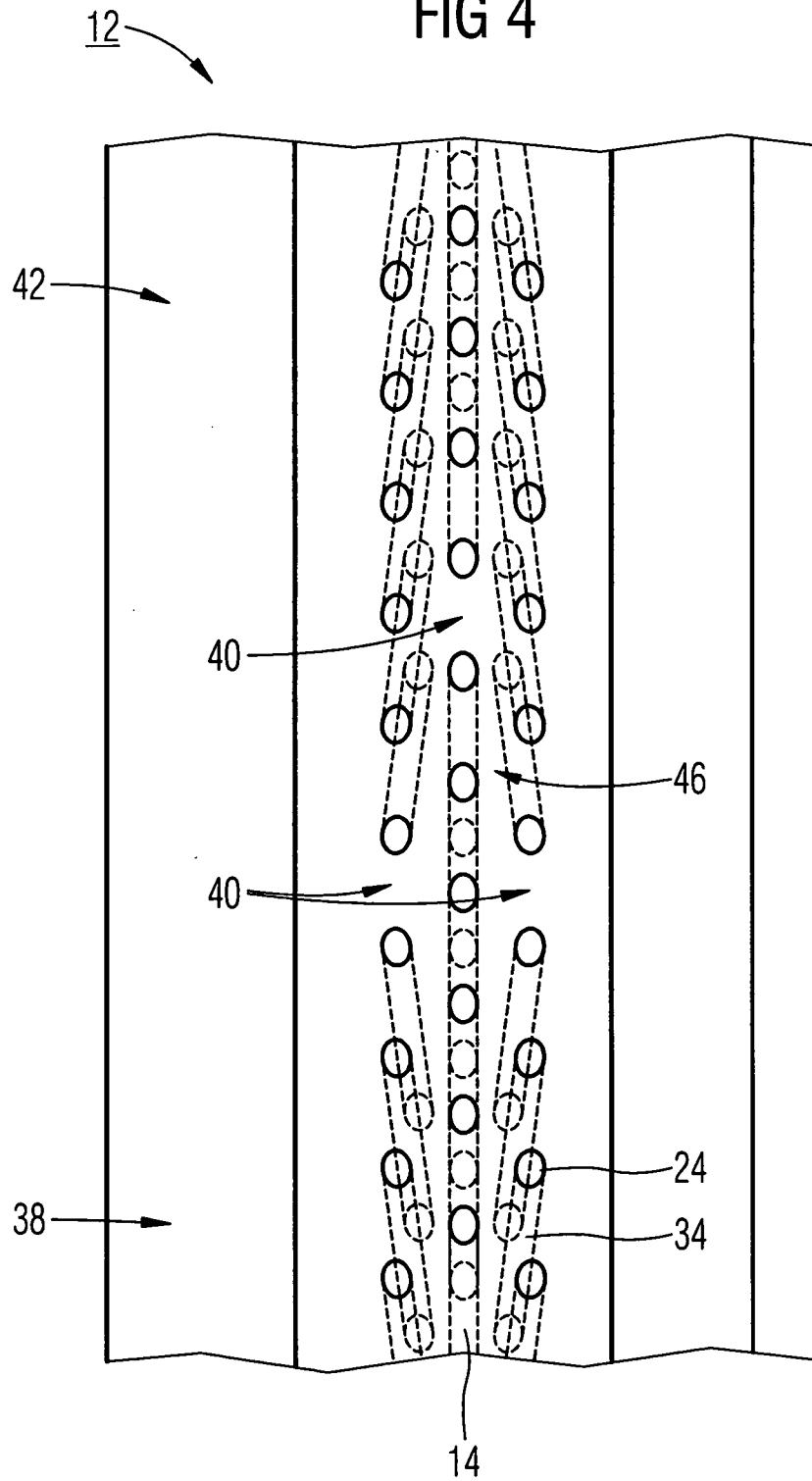




FIG 4





Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 04 01 5805

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	US 5 779 437 A (TIBBOTT IAN ET AL) 14. Juli 1998 (1998-07-14) * Spalte 3, Zeile 58 - Spalte 4, Zeile 29 * * Spalte 4, Zeile 58 - Spalte 5, Zeile 15 * * Zusammenfassung; Abbildungen * -----	1-4,6,7	F01D5/18 F01D9/04
A	GB 2 310 896 A (ROLLS ROYCE PLC) 10. September 1997 (1997-09-10) * Seite 3, Absatz 9 - Seite 7, Absatz 1 * * Zusammenfassung; Abbildungen 1-4 * -----	1-7	
A	EP 0 894 946 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 3. Februar 1999 (1999-02-03) * Absatz [0007]; Abbildung 5 * -----	1-7	
A	US 5 496 151 A (PICHON PHILIPPE M P ET AL) 5. März 1996 (1996-03-05) * Spalte 2, Zeile 56 - Spalte 4, Zeile 11 * * Zusammenfassung; Abbildungen * -----	1-4,6,7	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 0071, Nr. 37 (M-222), 15. Juni 1983 (1983-06-15) & JP 58 051202 A (HITACHI SEISAKUSHO KK), 25. März 1983 (1983-03-25) * Zusammenfassung; Abbildungen * -----	1-3,6,7	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7) F01D
A	US 6 176 676 B1 (ISHII JUNJI ET AL) 23. Januar 2001 (2001-01-23) Figures show overlapping concept. Angles and problem to be solved are different.* Abbildungen * -----	1,6,7	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>Den Haag</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>30. November 2004</b>	Prüfer <b>O'Shea, G</b>
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 Patentedokument, 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 04 01 5805

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

30-11-2004

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5779437	A	14-07-1998	CA 2268915 A1	07-05-1998
			WO 9819049 A1	07-05-1998
			CN 1235654 A ,B	17-11-1999
			CZ 9901458 A3	11-08-1999
			DE 69705318 D1	26-07-2001
			DE 69705318 T2	17-01-2002
			EP 0935703 A1	18-08-1999
			JP 2001507773 T	12-06-2001
			KR 2000052846 A	25-08-2000
			PL 333055 A1	08-11-1999
			RU 2179246 C2	10-02-2002
GB 2310896	A	10-09-1997	KEINE	
EP 0894946	A	03-02-1999	JP 3316405 B2	19-08-2002
			JP 10220203 A	18-08-1998
			CA 2250169 A1	06-08-1998
			DE 69821687 D1	25-03-2004
			EP 0894946 A1	03-02-1999
			US 6036436 A	14-03-2000
			WO 9834013 A1	06-08-1998
US 5496151	A	05-03-1996	FR 2715693 A1	04-08-1995
			DE 69500261 D1	05-06-1997
			DE 69500261 T2	06-11-1997
			EP 0666406 A1	09-08-1995
JP 58051202	A	25-03-1983	KEINE	
US 6176676	B1	23-01-2001	DE 69729980 D1	02-09-2004
			EP 1326007 A2	09-07-2003
			EP 0810349 A2	03-12-1997
			JP 10054203 A	24-02-1998
			US 6092982 A	25-07-2000

EPO FORM P0461

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