



(11)

EP 3 832 069 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
09.06.2021 Patentblatt 2021/23

(51) Int Cl.:
F01D 5/18 (2006.01) F01D 5/20 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **19214178.6**

(22) Anmeldetag: **06.12.2019**

(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 KH MA MD TN

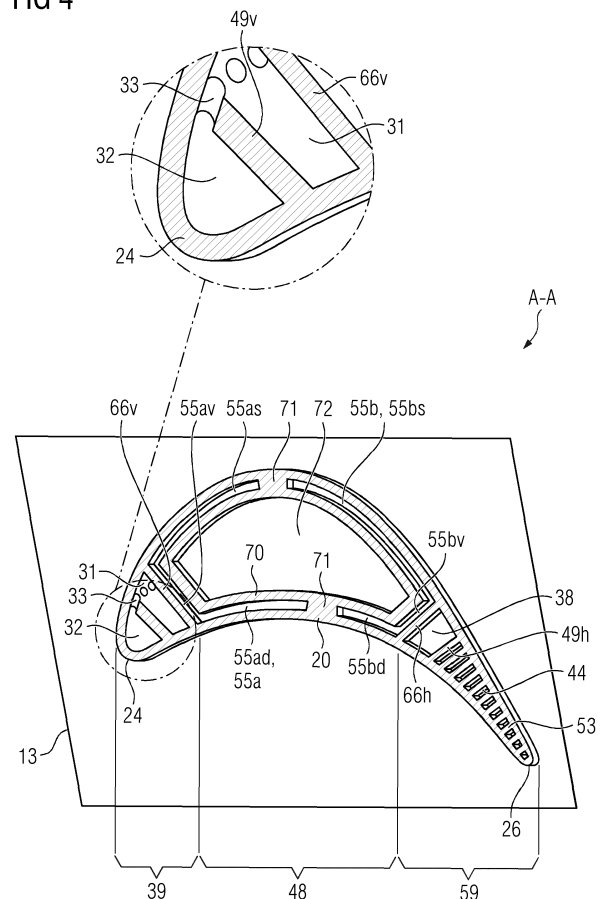
(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder: **Cavadini, Philipp**
10625 Berlin (DE)

(54) **TURBINENSCHAUFEL FÜR EINE STATIONÄRE GASTURBINE**

(57) Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel mit einem Schaufelblatt (18), wobei im Inneren des Schaufelblatts (18) ein erster Kühlpfad (30) für einen ersten Kühlmittelstrom (M1) und ein zweiter Kühlpfad (50) für einen zweiten Kühlmittelstrom (M2) ausgestaltet sind, wobei der erste Kühlpfad (30) eine erste Kühlmittelpassage (32), die zu einer Zyklonkühlung der Vorderkante (24) eingerichtet ist und eine sich an die erste Kühlmittelpassage (32) anschließende zweite Kühlmittelpassage (34), die sich unterhalb der Schaufelspitze (22) von der Vorderkante (24) in Richtung der Hinterkante (26) erstreckt, umfasst, wobei der zweite Kühlpfad (50) eine Serpentin-Kühlmittelpassage (52) zur Kühlung eines Mittelbereichs (48) des Schaufelblatts (18) und eine erste Hinterkanten-Kühlmittelpassage (54) zur teilweisen Kühlung eines Hinterkantenbereichs (59) umfasst.

FIG 4



Beschreibung

[0001] Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

[0002] Turbinenschaufeln von Gasturbinen unterliegen im Betrieb höchsten thermischen und mechanischen Belastungen, weswegen diese heutzutage Mithilfe von komplexen, hohlen Innen-Geometrien kühlbar und besonders robust ausgestaltet sind.

[0003] So ist beispielsweise eine dem Oberbegriff des Anspruch 1 entsprechende Gasturbinenschaufel aus der WO 1996/15358 A1 bekannt, bei der Mithilfe von tangential in einen Vorderkanten-Kühlkanal eingebrachter Kühlluft eine Kühlung der Vorderkante ermöglicht wird, ohne dass darin weitere Filmkühlöffnungen, im Englischen häufig auch als Showerhead-Holes bezeichnet, zu deren Kühlung erforderlich sind. Ein signifikanter Anteil der im Vorderkanten-Kühlkanal strömenden Kühlluft wird jedoch über in der Saugseite, nahe der Vorderkante angeordnete Filmkühlöffnungen, im Englischen auch als Gill-Holes bezeichnet, aus der Turbinenschaufel entlassen, wohingegen der restliche Anteil dieser Kühlluft unterhalb der Schaufelspitze zur Hinterkante geführt wird. Der restliche Teil des Schaufelblatts hingegen wird über einen Serpentina-Kühlkanal mit anschließender Hinterkanten-Ausblaseung gekühlt.

[0004] Des Weiteren ist aus der WO 2017/039571 A1 eine sogenannte Mehrlagen-Turbinenschaufel bekannt, die im englischen auch als "Multiwall-Turbine Blade" bezeichnet wird. In ihrem Inneren sind zwei Verdrängungskörper vorgesehen, mit denen die im Inneren der Turbinenschaufel strömende Kühlluft besonders nah an die Innenflächen der Außenwände gedrängt werden soll. Eine alternative Ausgestaltung einer Multiwall-Turbinenschaufel zeigt zudem die EP 1 783 327 A2.

[0005] Im Streben nach weiter erhöhten Wirkungsgraden von Turbinen besteht ein fortwährender Bedarf an Kühlluftersparung, da die eingesparte Kühlluft als Primärluft zur Oxidation von fossilen oder synthetischen Brennstoffen effizienzsteigernd verwendet werden kann.

[0006] Die Aufgabe der Erfindung ist folglich die Bereitstellung einer langlebigen Turbinenschaufel mit einem weiter reduzierten Kühlmittelverbrauch.

[0007] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Turbinenschaufel gemäß Anspruch 1. Die vorliegende Erfindung schlägt eine Turbinenschaufel für eine insbesondere axial durchströmte, stationäre Gasturbine, insbesondere für eine ihrer Hochdruck-Turbinenstufen, mit einem in ihrem Inneren angeordneten Kühlsystem vor, welches einen ersten Kühlpfad für einen ersten Kühlmittelstrom und einen zweiten Kühlpfad für einen zweiten Kühlmittelstrom umfasst, bei dem der erste Kühlpfad eine erste Kühlmittelpassage, die zu einer Zyklonkühlung der Vorderkante eingerichtet ist und eine sich an die erste Kühlmittelpassage anschließende zweite Kühlmittelpassage, die sich unterhalb der Schaufelspitze von der Vorderkante in Richtung der Hinterkante erstreckt, wobei der zweite Kühlpfad eine Serpentina-

Kühlmittelpassage zur Kühlung eines in Sehnenrichtung hinter dem Vorderkantenbereich angeordneten Mittelbereichs des Schaufelblatts und eine erste Hinterkanten-Kühlmittelpassage zur zumindest teilweisen Kühlung eines in Sehnenrichtung hinter dem Mittelbereich angeordneten, bis zur Hinterkante reichenden Hinterkantenbereichs des Schaufelblatts umfasst, wobei die erste Hinterkanten-Kühlmittelpassage mit einer Vielzahl von ersten, in der Hinterkante angeordneten Austrittslöchern strömungstechnisch verbunden ist, wobei die erste Kühlmittelpassage für eine geschlossene Kühlung eingerichtet ist und der erste Kühlpfad weiter umfasst: eine sich an die zweite Kühlmittelpassage anschließende dritte Kühlmittelpassage, die sich hauptsächlich radial nach innen erstreckt sowie eine, die sich an die dritte Kühlmittelpassage anschließende zweite Hinterkanten-Kühlmittelpassage, welche zur Kühlung einer schaufelspitzenseitigen Region des Hinterkantenbereichs ausgestaltet ist und mit einer Vielzahl von zweiten, in der Hinterkante angeordneten Austrittslöchern strömungstechnisch verbunden ist.

[0008] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass eine signifikante Einsparung von Kühlmittel zur Kühlung der Turbinenschaufel nur dann erreicht werden kann, wenn die Vorderkante und/oder die druckseitige Seitenwand und die saugseitige Seitenwand des Schaufelblatts, d.h. die Serpentina-Kühlmittelpassage für eine geschlossene Kühlung eingerichtet ist. Darunter wird hier verstanden, dass insbesondere in der Vorderkante und/oder die flächigen Bereichen des Schaufelblatts - also abgesehen von der Schaufelspitze bzw. deren Anstreifkanten - keine Öffnungen aufweisen, durch welche Kühlmittel ausströmen und in die Turbinenschaufel umströmendes Heißgas einströmen kann. Mit anderen Worten: von der ersten Kühlmittelpassage und/oder von der Serpentina-Kühlmittelpassage zweigen weder Showerhead-, noch Gill-Holes, noch andere Filmkühlöffnungen ab. Um dennoch eine hinreichende Kühlung der Vorderkante zu erreichen, insbesondere von thermisch äußerst hochbelasteten Turbinenschaufeln, besteht eigentlich in einem Fall von geschlossener Vorderkantenkühlung ein gesteigerter Bedarf an Kühlmittel. Mit der Erfindung wird nun jedoch erstmalig vorgeschlagen, den für die Vorderkantenkühlung eingesetzte erste Kühlmittelstrom auch noch für die Kühlung eines radial äußeren Teils des Hinterkantenbereichs des Schaufelblatts zu verwenden. Anstatt das Kühlmittel wie im Stand der Technik über Gill-Holes und an der Hinterkante direkt zu entlassen, wird erfindungsgemäß eine hintere Trennrippe ins System eingebracht, die das Kühlmittel aus dem vorwärtsströmenden System kommend erneut nach innen umlenkt und schließlich zu einem weiteren Hinterkanten-Kühlmittelpassage führt. Folglich wird der erste Kühlmittelstrom über eine zweite Kühlmittelpassage, die sich unmittelbar unterhalb der Schaufelspitze zum hinteren Ende des Schaufelblatts erstreckt, und über eine sich daran anschließende dritte Kühlmittelpassage auf vorzugsweise etwa halbe Höhe der Hinterkante geführt, um an-

schließlich in einer radial außen angeordneten Hinterkanten-Kühlmittelpassage dort nutzbringend verwendet zu werden. Aufgrund dieser Lösung kann der Bedarf an Kühlluft für den zweiten Strömungspfad signifikant reduziert werden. Mithin bietet der hier vorgeschlagene Ansatz einen maximalen Nutzen des zur Verfügung stehenden Kühlmittels aufgrund einer neuartigen Aufteilung und unter Verwendung eines Kühlkonzepts, nämlich der Zyklonkühlung, die für Turbinenschaufeln der ersten und/oder zweiten Turbinenstufe von Gasturbinen mit vergleichsweise hohen Verdichterdruckverhältnissen bzw. hohen Turbineneintrittstemperaturen bisher als vollkommen ungeeignet angesehen und deshalb für deren Turbinenschaufeln nicht in Betracht gezogen wurde.

[0009] Mit der Erfindung kann der Verbrauch an Kühlmittel in einem nicht vorab zu erwartendem Umfang reduziert werden bei gleichzeitiger hinreichender Kühlung des gesamten Schaufelblatts. Gemäß detaillierten Simulationen gilt dies selbst für Turbinenschaufeln, die in einer der beiden vorderen Turbinenstufen einer stationären Gasturbine, deren Turbineneintrittstemperatur bei ISO-Nennbetrieb von 1300°C und höher liegt oder deren Verdichterdruckverhältnis von 19:1 oder höher beträgt. Selbst bei derartigen Turbinenschaufeln konnte die Menge an Kühlmittel um etwa 30 % gesenkt werden im Vergleich zu einer konventionellen, mit in der Vorderkante angeordneten Kühlöchern, unter Erreichung der identischen Lebensdauer.

[0010] Gemäß einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind in der Schaufelspitze ein oder mehrere Austrittslöcher für Kühlmittel angeordnet sind, die mit der zweiten Kühlmittelpassage strömungstechnisch verbunden sind. Diese Maßnahme verbessert die Dauerfestigkeit von etwaigen, an der Schaufelspitze hervorragenden Anstreifkanten.

[0011] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst der erste Kühlpfad eine Versorgungspassage für die erste Kühlmittelpassage, die unmittelbar neben der ersten Kühlmittelpassage angeordnet sich zumindest über einen Großteil der Spannweite des Schaufelblatts erstreckend über eine Vielzahl von Durchtrittsöffnungen derart mit der ersten Kühlmittelpassage strömungstechnisch verbunden ist, dass das durch die Durchtrittsöffnungen strömende Kühlmittel dem in der ersten Kühlmittelpassage strömenden Kühlmittel einen Drall aufprägen bzw. verstärken kann. Dies kann erreicht werden, indem die Durchtrittsöffnungen tangential, d.h. außermittig in der ersten Kühlmittelpassage und insbesondere mit der Innenfläche der saugseitigen oder druckseitigen Seitenwand fluchtend münden und/oder in Radialrichtung angestellt sind. Somit lässt sich eine effiziente Zyklonkühlung der Vorderkante vergleichsweise einfach bereitstellen.

[0012] Eine über die Höhe des Schaufelblatts angepasste bzw. homogenisierte Zyklonkühlung der Vorderkante lässt sich gemäß einer weiteren Ausführungsform dadurch erreichen, dass eine in Spannweitenrichtung ermittelbare Dichte an Durchtrittsöffnungen am fußseitigen

Ende am größten ist, und vorzugsweise zur Schaufelspitze hin schrittweise oder kontinuierlich abnimmt. Hiermit kann die Strömungsgeschwindigkeit in der ersten Kühlmittelpassage über die Spannweite des Schaufelblatts nahezu konstant gehalten werden, was ebenso durch eine sich im Querschnitt verjüngende erste Kühlmittelpassage zur Schaufelspitze erreichbar ist.

[0013] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist an einer oder mehreren Innenflächen von einer oder mehreren Kühlmittelpassagen eine Vielzahl von vorzugsweise rippenförmigen, insbesondere geneigt angeordneten Turbulatoren angeordnet, um lokal den Wärmeübergang in das erste und oder zweite Kühlmittel weiter zu erhöhen und/oder um den Drall zu unterstützen.

[0014] Nach einer weiteren Weiterbildung der Erfindung ist in jeder Hinterkanten-Kühlmittelpassage eine Vielzahl von in einem Muster d.h. in mehreren Reihen angeordneten Sockeln vorgesehen. Hiermit lässt sich ein Hinterkantenbereich des Schaufelblatts, welcher sich an den Mittelbereich des Schaufelblatts anschließt und sich bis zur Hinterkante des Schaufelblatts erstreckt, in einfacher wie effizienter Weise geschlossen kühlen. Weiter können dadurch auch die Aufteilung des Kühlmittels für die beiden Kühlpfade und die darin auftretenden Druckverluste effizient eingestellt werden.

[0015] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind zwei die zweite Kühlmittelpassage erweiternde, Kühlkanalarne vorgesehen, die mit zunehmender Erstreckung in Sehnenrichtung sich nach radial innen aufweiten und in der dritten Kühlmittelpassage münden. Diese Maßnahme reduziert bzw. kompensiert die Verringerung des Durchströmungsquerschnitts der zweiten Kühlmittelpassage, die sich aufgrund der tropfenförmigen Gestalt des zur Hinterkante spitz zulaufenden Schaufelprofils ergibt. Mithin kann für die gesamte Länge der zweiten Kühlmittelpassage eine annähernd konstante Querschnittsfläche erzielt werden, wodurch der erste Kühlmittelstrom mit konstanter Geschwindigkeit die zweite Kühlmittelpassage durchströmen kann. Strömungsablösung können somit vermieden werden unter Aufrechterhaltung einer gleichmäßigen Kühlung der Schaufelspitze sowie der lokalen Bereiche der Seitenwände.

[0016] Des Weiteren ist gemäß einer Weiterbildung der vorgenannten Ausführungsform zwischen der zweiten Kühlmittelpassage und der Serpentina-Kühlmittelpassage eine Trennwand angeordnet, die die beiden Seitenwände miteinander verbindet und sich in Sehnenrichtung erstreckt, wobei die Trennwand mit zunehmender Annäherung zur Hinterkante einen vorzugsweise spitz zulaufenden Verdrängungskeil ausbildet, der in Verbindung mit den Innenflächen der beiden Seitenwände die zwei Kühlkanalarne seitlich begrenzt.

[0017] Gemäß einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist zwischen der dritten Kühlmittelpassage und der zweiten Hinterkanten-Kühlmittelpassage eine sich in Spannweitenrichtung erstreckende hintere Trennrippe vorgesehen. Gegebenenfalls

können in der hinteren Trennrippe auch ein oder mehrere Löcher vorhanden sein, um lokale Totwassergebiete in der zweiten Hinterkanten-Kühlmittelpassage zu verhindern.

[0018] Gemäß einem vorteilhaften Vorschlag der Erfindung weist die Hinterkante eine normierte Höhe von 100%, beginnend an ihrem fußseitigem Ende bei 0% und endend an der Schaufelspitze bei 100 %, auf, wobei die beiden Hinterkanten-Kühlmittelpassagen von einer sich hauptsächlich in Sehnenrichtung erstreckenden Trennrippe zumindest im Wesentlichen voneinander getrennt sind, die auf einer Höhe zwischen 45% und 75% der normierten Höhe angeordnet ist. Insbesondere hierdurch lässt eine besonders effiziente Aufteilung der insgesamt zur Verfügung stehenden Kühlmittelmenge erreichen, mit der zum einen eine homogene Kühlung des Schaufelblatts und zum anderen ein weiter reduzierter Kühlmittelverbrauch an sich erzielbar ist. Um die zum Gießen der Turbinenschaufel benötigten Gusskerne, welche später die beiden hinteren Hinterkanten-Kühlmittelpassagen hinterlassen, besser befestigen zu können und um Kernbruch zu vermeiden, ist es hilfreich sein, wenn diese Gusskerne über einige, wenige Stützen unmittelbar miteinander verbunden sind. Zwar hinterlassen dann die Stützen in der fertigen Turbinenschaufel Öffnungen in der Trennrippe, die die vollständige Trennung der beiden Hinterkanten-Kühlkanäle aufhebt, jedoch sind die beiden Hinterkanten-Kühlkanäle weiterhin im Wesentlichen voneinander getrennt.

[0019] Bevorzugtermaßen ist bei einer weiteren Weiterbildung der Erfindung vorgesehen, dass die Serpentin-Kühlmittelpassage zumindest zwei sich in Spannweitenrichtung erstreckende Kanalabschnitte und zumindest zwei Umkehrabschnitte, die einander abwechseln, umfasst, wobei der im Kühlmittelstrom weiter stromab gelegene Umkehrabschnitt mit der ersten Hinterkanten-Kühlmittelpassage unmittelbar strömungstechnisch verbunden ist.

[0020] Besonders bevorzugt und vorteilhaft ist die Weiterbildung der voran beschriebenen Ausführungsform, bei der die beiden Kanalabschnitte mittels eines Verdrängungskörpers und mittels der beiden Seitenwände in einer Querschnittsbetrachtung des Schaufelblatts im Wesentlichen jeweils C-förmig mit einem saugseitigen Kanalar, einem druckseitigen Kanalar und einem die beiden Kanalararme verbindenden Verbindungsarm ausgestaltet und derart zueinander angeordnet sind, dass sie den Verdrängungskörper nahezu vollständig umgeben. Hierdurch kann eine als Multiwall ausgestaltete Turbinenschaufel bereitgestellt werden. Durch die Ausgestaltung als Multiwall ist es einerseits möglich, ein Schaufelblatt zu erzeugen, das auch bei geringem Mittelverbrauch eine relativ geringe Krümmung an der Vorderkante aufweist. Diese geringe Krümmung ist der Drallerzeugung in der ersten Kühlmittelpassage natürlich stark förderlich. Andererseits können durch aufgrund der Multiwall-Ausgestaltung die Kühlabschnitte vergleichsweise geringe Durchströmungsquerschnitte erhalten. Im Be-

trieb strömt sodann der zweite Kühlmittelstrom durch die Kanalabschnitte bzw. durch die Serpentin-Kühlmittelpassage mit hinreichend großer Geschwindigkeit und somit unter Ausbildung eines hinreichend hohen Wärmeübergangs. Dies insbesondere verringert die Menge an erforderlichem Kühlmittel für eine effiziente Kühlung des Mittelbereichs des Schaufelblatts zwischen Vorderkante und Hinterkantenbereich. Mit Hilfe dieser Maßnahme kann der Verbrauch um etwa weitere 40% gesenkt werden, wodurch dann die thermische Effizienz der Turbinenschaufel vergleichsweise nah an das theoretische Maximum geführt werden kann.

[0021] Dabei erweist es sich als zweckmäßig, wenn der Verdrängungskörper in einer Querschnittsbetrachtung einen Hohlraum umgreift und über Stege an den beiden Seitenwänden abgestützt ist.

[0022] Nach einer vorteilhaften Weiterbildung kann bei einer Turbinenlaufschaufel zur Kompensation von im Betrieb auf das zweite Kühlmittel auftretenden Corioliskräften zumindest einer, vorzugsweise bei beiden, die Druckseitenwand mit der Saugseitenwand verbindenden Stützrippen, welche sich vom fußseitigen Ende zur Schaufelspitze hin erstrecken auf der Stützrippe bzw. an den die Verbindungsarme begrenzenden Innenflächen des Verdrängungskörpers Elemente, vorzugsweise Turbulatoren, vorgesehen sein. Dadurch kann eine Querströmung von Kühlmittel aus dem saugseitigen Kanalar durch den Verbindungsarm in den druckseitigen Kanalar reduziert werden.

[0023] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist der Hohlraum nicht von Kühlmittel durchströmbar, da er keine Austrittsöffnung für Kühlmittel aufweist. Dies verhindert eine ungewollte Störung der zweiten Kühlmittelströmung, ermöglicht aber die Verwendung einer besonders einfachen Gießvorrichtung, bei der die verwendeten Gusskerne besonders einfach und stabil an weiteren Komponenten der Gießvorrichtung befestigbar sind. Dementsprechend ist die erfindungsgemäße Turbinenschaufel vorzugsweise gegossen, wobei eine nach dem Gießen der Turbinenschaufel im Schaufelfuß vorhandene Öffnung, die mit dem Hohlraum in direkter, d.h. unmittelbarer Verbindung steht, von einer separat hergestellten Abdeckplatte verschlossen ist. Analoges gilt für eine nach dem Gießen der Turbinenschaufel im Schaufelfuß vorhandene Öffnung, die mit der ersten Hinterkanten-Kühlmittelpassage in direkter, d.h. unmittelbarer Verbindung steht. Bevorzugtermaßen ist auch eine solche verschlossen, indem eine separat hergestellte Abdeckplatte die betreffende Öffnung vollständig überdeckend am Schaufelfuß befestigt ist.

[0024] Zweckmäßigerweise sind für jeden Kühlpfad ein oder mehrere Einlässe vorgesehen, die mit der ersten Kühlmittelpassage bzw. der Versorgungspassage oder mit der Serpentin-Kühlmittelpassage bzw. einem ihrer Kanalabschnitte unmittelbar strömungstechnisch verbunden sind.

[0025] Bevorzugtermaßen weist die Turbinenschaufel ein Aspektverhältnis von einer Hinterkanten-Spannweite

bezogen auf eine am fußseitigen Ende zu erfassenden Sehnenlänge auf, welches 3,0 oder kleiner ist, da sich herausgestellt hat, dass die vorgeschlagene Aufteilung des zu Verfügung stehenden Kühlmittels in zwei vorzugsweise voneinander getrennte Kühlmittelströme und die gleichzeitig vorgeschlagene Aufteilung der Kühlung des Hinterkantenbereichs insbesondere für derartige Turbinenschaufeln eine beträchtliche Einsparung der Menge an Kühlmittel ermöglicht.

[0026] Grundsätzlich ist die Verwendung der voran beschriebenen Turbinenschaufel sowohl als an einem Rotor angebrachter Laufschaufel oder als an einem statischen Träger angebrachter Leitschaufel möglich.

[0027] In überraschender Weise lässt sich die voran beschriebene Turbinenschaufel auch in einer ersten oder zweiten Turbinenstufe einer stationären Gasturbine verwenden, die bei ISO-Nennbetrieb eine Turbineneintrittstemperatur von mindestens 1300°C und/oder ein bei ISO-Nennbetrieb auftretendes Verdichtungsverhältnis von 19:1 oder größer aufweist. Im Sinne dieser Anmeldung fallen so genannte Aero-Derivate nicht unter die Definition von stationären Gasturbinen. Mithin ist die Erfindung nicht nur für solche stationären Gasturbinen geeignet, deren Heißgas-Temperaturen am Turbineneintritt nach heutigen Maßstäben als vergleichsweise gering angesehen werden.

[0028] Die bisherige Beschreibung vorteilhafter Ausgestaltungen der Erfindung enthält zahlreiche Merkmale, die in den einzelnen Unteransprüchen teilweise zu einer Einheit zusammengefasst wiedergegeben sind. Diese Merkmale können jedoch zweckmäßigerweise auch einzeln betrachtet und zu weiteren Kombinationen zusammengefasst werden. Insbesondere sind diese Merkmale jeweils einzeln und in beliebiger geeigneter Kombination mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Vorrichtung kombinierbar. So sind etwa auch Verfahrensmerkmale, gegenständlich formuliert, auch als Eigenschaft der entsprechenden Vorrichtungseinheit zu sehen und umgekehrt.

[0029] Auch wenn in der Beschreibung bzw. in den Patentansprüchen einige Begriffe jeweils im Singular oder in Verbindung mit einem Zahlwort verwendet werden, 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. Ebenso dienen die Zahlwörter "erster", "zweiter", "dritter", etc. lediglich zur Unterscheidung von Merkmalen, die grundsätzlich ähnlicher Natur sind.

[0030] 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.

[0031] Es zeigen:

Figur 1 eine Seitenansicht auf eine Turbinen-

Figur 2

5 Figur 3

Figur 4

10

Figuren 5 - 7

Figur 8

15

Figur 9

20

[0032] In den Figuren weisen alle technischen Merkmale, welche mit gleichen Bezugszeichen versehen sind, gleiche technische Wirkung auf.

25

[0033] Nachfolgend wird die Erfindung anhand einer Turbinenschaufel 10 erläutert, welche als Turbinenlaufschaufel ausgestaltet ist. Gleichwohl kann es sich bei der Erfindung auch um eine Turbinenleitschaufel handeln.

30

[0034] Als ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt Figur 1 eine Turbinenschaufel 10 in einer Seitenansicht. Die vorzugsweise in einem Feinguss-Verfahren hergestellte Turbinenschaufel 10 umfasst einen nur im Ansatz dargestellten Schaufelfuß 12. Der Schaufelfuß 12 kann in bekannter Art und Weise in einer Schwalbenschwanzform oder einer Tannenbaumform ausgestaltet sein. Daran schließt sich eine Plattform 13 an, von der aus sich in Spannweitenrichtung R ein Schaufelblatt 18 sich von einem fußseitigen Ende 20 zu einer Schaufelspitze 22 erstreckt. Wenn die Turbinenlaufschaufel 10 in einer axial durchströmten Gasturbine eingebaut ist, fallen die Spannweitenrichtung und die Radialrichtung der Gasturbine zusammen. In einer quer zur Spannweitenrichtung R orientierten Sehnenrichtung S erstreckt sich das Schaufelblatt 18 von einer Vorderkante 24 zu einer Hinterkante 26. In der Hinterkante 26 sind Austrittslöcher 46, 56 entlang der Spannweitenrichtung verteilt. Ein Aspektverhältnis HSP/SL von einer Hinterkanten-Spannweite HSP bezogen auf eine am fußseitigen Ende zu erfassenden Sehnenlänge SL beträgt gemäß diesem Ausführungsbeispiel 1,9 und liegt bevorzugtermaßen im Bereich zwischen 1,5 und 3.

35

[0035] An einer seitlichen Fläche der Plattform 13 münden ebenfalls Austrittsöffnungen 28. Die Austrittslöcher 46, 56 sowie die Austrittsöffnungen 28 sind in Strömungsverbindung mit einem inneren Kühlsystem der Turbinenlaufschaufel 10.

40

[0036] Das Kühlsystem der Turbinenlaufschaufel 10 und insbesondere des Schaufelblatts 18 ist in der Figur 2 als Kühlturm schematisch dargestellt. Der Turbinenlaufschaufel 10 sind ein erster Kühlmittelstrom M1

und ein zweiter Kühlmittelstrom M2 getrennt zu führbar. Der erste Kühlmittelstrom M1 durchströmt einen ersten Kühlpfad 30, welcher sich aus mehreren Kühlmittelpassagen 31, 32, 33, 34, 36a, 36b, 38, 40, 44 zusammensetzt. Stromab eines in der Figur 2 nicht dargestellten Einlasses für den Kühlmittelstrom M1 folgt eine Versorgungspassage 31, die über eine Vielzahl von Durchtrittsöffnungen 33 mit einer ersten Kühlmittelpassage 32 in Strömungsverbindung steht. Die erste Kühlmittelpassage 32 dient zur Zyklonkühlung der Vorderkante 24 des Schaufelblatts 18 sowie des sich daran unmittelbar anschließenden Vorderkantenbereichs 39. Im Bereich der Schaufelspitze 22 geht die erste Kühlmittelpassage 32 in eine zweite Kühlmittelpassage 34 über, welche zur Kühlung der Schaufelspitze 22 sich von der Vorderkante 24 über eine vergleichsweise große Sehnenlänge der Schaufelspitze 22 sich in Richtung Hinterkante 26 erstreckt. In der Schaufelspitze können dritte Austrittslöcher 67 zur Kühlung von später erläuterten Anstreifkanten angeordnet sein. Weiter umfasst die zweite Kühlmittelpassage 34 zwei erst in der zweiten Hälfte der zweiten Kühlmittelpassage 34 beginnende Kühlkanalarne 36a, 36, die ebenso wie das stromabseitige Ende der zweiten Kühlmittelpassage 34 mit einer dritten Kühlmittelpassage 38 verbunden sind. Letztere ist über einen Umkehrabschnitt 40 mit einer zweiten Hinterkanten-Kühlmittelpassage 44 strömungstechnisch verbunden. Der den ersten Kühlpfad 30 durchströmende Kühlmittelstrom M1 kann dann über eine Vielzahl von zweiten Austrittslöchern 46 die Turbinenlaufschaufel 10 an ihrer Hinterkante 26 verlassen. Parallel dazu ist der zweite Kühlpfad 50 angeordnet, welcher stromab eines in Figur 2 nicht weiter dargestellten Einlasses eine Serpentina-Kühlmittelpassage 52 aufweist. Die Serpentina-Kühlmittelpassage 52 umfasst zur Kühlung eines Mittelbereichs 48 (Figur 1) gemäß diesen Ausführungsbeispiel zwei sich in Spannweitenrichtung erstreckende Kanalabschnitte 55a, 55b, die über einen dazwischen angeordneten Umkehrabschnitt 57a miteinander verbunden sind. Am stromab gelegenen Ende des zweiten Kanalabschnitts 55b schließt sich ein zweiter Umkehrabschnitt 57b an, welcher den zweiten Kanalabschnitt 55b mit einer ersten Hinterkanten-Kühlmittelpassage 54 strömungstechnisch verbindet. Der den zweiten Kühlpfad 50 durchströmende Kühlmittelstrom M2 kann dann den über eine Vielzahl von ersten Austrittslöchern 46 die Turbinenlaufschaufel 10 an ihrer Hinterkante 26 verlassen. Beide Hinterkanten-Kühlmittelpassagen 44, 54 dienen zur Kühlung eines Hinterkantenbereichs 59 (Figur 1).

[0037] Figur 3 zeigt als Längsschnitt eine innere Struktur der Turbinenlaufschaufel 10 gemäß Figur 1, welche zu dem Kühlschemata nach Figur 2 korrespondierend ausgestaltet ist. Hierzu umfasst die Turbinenlaufschaufel 10 eine Reihe von unterschiedlich angeordneten Wänden und Rippen, die die einzelnen Kühlpfade und Kühlmittelpassagen voneinander trennen. Im Schaufelfuß 12 sind zwei Einlässe 80 für die beiden Kühlmittelströme M1 und M2 bzw. für die beiden Kühlpfade 30, 50 vorge-

sehen. Zwischen den beiden Einlässen 80 ist eine die beiden Seitenwände 14, 16 miteinander verbindende vorderen Stützrippe 66v angeordnet, die für einen ersten Abschnitt den ersten Kühlpfad 30 vom zweiten Kühlpfad 50 trennt. Eine vorderen Trennrippe 49v trennt zudem die Versorgungspassage 31 von der ersten Kühlmittelpassage 32, wobei in der vorderen Trennrippe 49v eine Vielzahl von Durchtrittsöffnungen 33 (Detail zu Figur 4) angeordnet sind. In Figur 3 sind von diesen jedoch lediglich die Mündungen der Durchtrittsöffnungen dargestellt. Wie aus Figur 3 hervorgeht, ist im plattformnahen Bereich eine größere Dichte von Durchtrittsöffnungen 33 vorgesehen als im spitzennahen Bereich. Die Lage und die Orientierung der Durchtrittsöffnungen 33 in der vorderen Trennrippe 49v ist so gewählt, dass in der ersten Kühlmittelpassage 32 eine vergleichsweise stark verdrehte Kühlmittelströmung entstehen kann. Unter einer verdrehten Kühlmittelströmung ist eine solche zu verstehen, die zyklonartig bzw. analog zu einer Schraubenlinie bzw. einer Helix sich vom fußseitigen Ende 20 zur Schaufelspitze 22 ausbilden kann. Mithin sind sie in der vorderen Trennrippe 49v außermittig und insbesondere mit den Innenwänden der Saugseitenwand 16 (oder Druckseitenwand) fluchtend angeordnet, ggf. sogar unter einer Neigung zur Schaufelspitze 22 hin um die Abschwächung des Dralls beim Durchströmen der ersten Kühlmittelpassagen 32 zumindest teilweise zu kompensieren.

[0038] Am äußeren Ende der ersten Kühlmittelpassage 32 schließt sich die zweite Kühlmittelpassage 34 zur Kühlung eines Bodens 37 der Schaufelspitze 22 an, wobei die zweite Kühlmittelpassage 34 durch eine Trennwand 60 von der Serpentina-Kühlmittelpassage 52 getrennt ist. Am hinterkantennahen Ende der zweiten Kühlmittelpassage 34 schließt sich die dritte Kühlmittelpassage 38 an, welche sich von der Schaufelspitze 22 in Richtung des fußseitigen Endes 22 erstreckt, jedoch etwa nur bis zur halben Höhe des Schaufelblatts 18, wobei die Höhe des Schaufelblatts 18 an der Hinterkante 26 zu erfassen ist. Daran schließt sich ein weiterer Umkehrabschnitt 40 an, mittels dem der erste Kühlmittelstrom M1 der zweiten Hinterkanten-Kühlmittelpassage 44 zugeführt werden kann. Die dritte Kühlmittelpassage 38 ist durch eine entsprechend ausgestaltete hinteren Trennrippe 49h von der zweiten Hinterkanten-Kühlmittelpassage 54 größtenteils getrennt.

[0039] In der zweiten Hinterkanten-Kühlmittelpassage 44 sind vom Kühlmittel M1 umströmbare Sockel 53 in mehreren Reihen hintereinander angeordnet. Im gezeigten Ausführungsbeispiel sind die Sockel eher Rennbahnförmig ausgestaltet mit vergleichsweise engen Durchtrittspassagen, um einen möglichst hohen Druckverlust herbeizuführen. Der erste Kühlpfad 30 endet in in der Hinterkante 26 vorgesehenen zweiten Austrittslöchern 46, durch welche zumindest ein Großteil des durch den zugehörigen Einlass 80 zugeführten Kühlmittelstroms M1 aus der Turbinenlaufschaufel 10 entlassen werden kann.

[0040] Der zweite Kühlpfad 50 zur Führung des zwei-

ten Kühlmittelstroms M2 und umfasst im Wesentlichen die Serpentina-Kühlmittelpassage 52 sowie die erste Hinterkanten-Kühlmittelpassage 44. Ersteres lässt sich in vier aufeinanderfolgende Abschnitte unterteilen, von denen der erste als erster Kanalabschnitt 55a bezeichnet ist. Daran anschließend folgt aufeinander ein erster Umkehrabschnitt 57a, ein zweiter Kanalabschnitt 55b sowie ein zweiter Umkehrabschnitt 57b. Letzter verbindet die Serpentina-Kühlmittelpassage 52 mit der zweiten Hinterkanten-Kühlmittelpassage 54, welche analog zur ersten Hinterkanten-Kühlmittelpassage 44 mit in mehreren Reihen angeordneten, Rennbahn-förmigen Sockeln 53 ausgestaltet ist.

[0041] Die beiden Kanalabschnitte 55a, 55b der Serpentina-Kühlmittelpassage 52 erstrecken sich entlang der Spannweitenrichtung R über einen Großteil des Schaufelblatts 18. Der erste Kanalabschnitt 55a als auch der zweite Kanalabschnitt 55b sind, wie in Figur 4 zusätzlich dargestellt, im Wesentlichen U-förmig mit jeweils einem saugseitig angeordneten Kanalar 55as, 55bs, einem druckseitigen angeordneten Kanalar 55ad, 55bd sowie einem die betreffenden Kanalarne verbindenden Verbindungsarm 55av, 55bv. Demzufolge ist der erste Kanalabschnitt 55a von der druckseitigen Seitenwand 14, von der vorderen Stützrippe 66v, von der saugseitigen Seitenwand 16 sowie einem im Inneren angeordneten Verdrängungskörper 70 - im Querschnitt gemäß Figur 4 - umgeben. Der zweite Kanalabschnitt 55b ist von der druckseitigen Seitenwand 14, von einer hinteren Stützrippe 66h, von der saugseitigen Seitenwand 16 sowie dem im Inneren angeordneten Verdrängungskörper 70 umgeben. Der Verdrängungskörper 70 umgreift selber einen Hohlraum 72 und ist über Stege 71 an der druckseitigen Seitenwand 14 bzw. der saugseitigen Seitenwand 16 abgestützt. Die Stege 71 erstrecken sich annähernd über die gesamte Höhe des Schaufelblatts 18 und dienen einerseits zur monolithischen Befestigung des Verdrängungskörpers 70 in der Turbinenlaufschaufel 10 und andererseits zur Trennung der beiden Kanalabschnitte 55, 57. Bezugnehmend auf Figur 2 ist erkennbar, dass der Verdrängungskörper 72 an seinem radial äußeren Ende hinterkantenseitig gestützt ist. Diese Maßnahme verbessert die mechanische Integrität der Turbinenlaufschaufel 10 und insbesondere deren Schwingungsfestigkeit.

[0042] Die beiden Hinterkanten-Kühlmittelpassagen 44, 54 sind von einer sich hauptsächlich in Sehnenrichtung S erstreckenden Trennrippe 64 sind zumindest größtenteils, wenn nicht gar vollständig voneinander getrennt. Gemäß dem Ausführungsbeispiel endet die Trennrippe 64 auf einer Höhe von 55% einer normierten Schaufelblatthöhe der Hinterkante 24. Vorzugsweise ist die Trennrippe 64 auf einer Höhe zwischen 45% und 75% der normierten Höhe angeordnet.

[0043] Die Figuren 5 bis 7 zeigen Schnitte durch die Spitze der Turbinenlaufschaufel 10 gemäß der drei Schnittlinien B-B, C-C und D-D aus Figur 3. An dem äußeren Ende der Schaufelspitze 72 sind sowohl saugseitig

als auch druckseitig Anstreifkanten 78 vorgesehen. Zudem ist es ersichtlich, dass der Verdrängungskörper 70 an seinem radial äußeren Ende nicht verschlossen, sondern zum ersten Umkehrabschnitt 57a hin geöffnet ist. Insofern wäre zwar ein Einströmen des zweiten Kühlmittelstroms M2 möglich. Da jedoch eine für das Erstellen des Hohlraums 72 bzw. des Verdrängungskörpers 70 erforderliche Öffnung 74a am Schaufelfuß 12 durch eine dort nach dem Gießen angebrachte Abdeckplatte 76a (Figur 1) verschlossen ist, mangelt es dem Hohlraum 72 an Austrittsöffnungen. Demzufolge ist er nicht durchströmbar, sondern als Totwasser-Raum ausgestaltet. Folglich bietet es sich an, dessen Innengestalt ggf. zu schon noch in der Entwurfsphase mittels dem Vorsehen von weiteren Strukturen wie Rippen, Streben oder dergleichen zu variieren, wenn falls eine Modalanpassung erforderlich ist. Der besondere Vorteil würde darin liegen, dass allein die Eigenfrequenz der Turbinenschaufel angepasst werden würde, ohne sonstige Eigenschaften wie Aerodynamik oder Wärmeaustausch zu beeinflussen.

[0044] Weiter zeigen die Figuren 5 bis 7, wie die Trennwand 60 mit zunehmender Annäherung zur Hinterkante 24 einen spitz zulaufenden Verdrängungskeil 62 ausbildet, der in Verbindung mit den Innenflächen der beiden Seitenwänden 14, 16 die beiden Kühlkanalarne 36a und 36b jeweils seitlich begrenzen. Mithilfe des spitz zulaufenden Verdrängungskeils 62 lässt sich die Stützung des Verdrängungskörpers 70 kompensieren, sodass weiterhin eine seitenwandnahe Führung des Kühlmittelstroms M2 im gestützten Bereich und somit eine hinreichende Kühlung dessen effizient möglich ist. Ist die Stützung des Verdrängungskörpers nicht zwingend notwendig, kann die Größe des Verdrängungskeils reduziert werden. Ggf. kann sogar ganz darauf verzichtet werden.

[0045] Figur 8 zeigt in einer zur Schaufelspitze 22 - also nach außen - gerichteten Sicht einen Querschnitt auf die stromabwärtige Hälfte der Schaufelspitze 22 gemäß Schnittlinie E-E aus Figur 3.

[0046] Gemäß eines nicht weiter gezeigten zweiten Ausführungsbeispiels kann anstelle oder zusätzlich zur Versorgungspassage 31 ein schaufelfußseitiger Kanalabschnitt vorgesehen sein, welcher eine Verlängerung der ersten Kühlmittelpassage 32 bis zur Unterseite des Schaufelfußes 12 darstellen kann. In diesem schaufelfußseitigen Kanalabschnitt können entsprechend geeignete Drallerzeuger, beispielsweise Spiralrippen, vorgesehen sein, die den Kühlmittelstrom M1 bei der Durchströmung des schaufelfußseitigen Kanalabschnitts zyklonartig verdrallen. In diesem Fall wäre die erste Kühlmittelpassage 32 durch die vordere Stützrippe 66v von dem Verbindungskanal 55av getrennt, sodass in der vorderen Stützrippe 66v angeordnete Durchtrittsöffnung 33 eine Wiederauffrischung bzw. Verstärkung des Drallimpulses begünstigen könnten. Insofern kann es gegebenenfalls sogar sinnvoll sein, die beiden Kühlmittelströme M1 und M2 nicht gänzlich voneinander zu trennen, sondern in einem geringen Umfang wechselseitig zu unterstützen.

[0047] Figur 9 zeigt lediglich schematisch eine Gasturbine 100 mit einem Verdichter 110, einer Brennkammer 120 sowie einer Turbineneinheit 130. An einem Rotor 140 der Gasturbine ist gemäß diesem Ausführungsbeispiel ein Generator 150 zur Stromerzeugung angeschlossen. Der Verdichter 110 ist derart ausgestaltet, dass er im Betrieb bei ISO-Normbedingungen ein Druckverhältnis von verdichteter Umgebungsluft VL zu angesaugter Umgebungsluft L von 19:1 oder größer erzeugen kann. In der Brennkammer 120 wird dann die verdichtete Luft VL mit einem Brennstoff F gemischt und zu einem Heißgas HG verbrannt. Brennkammer 120 und Turbineneinheit 130 sind derart ausgestaltet, dass das am Ausgang der Brennkammer 120 bzw. am Eintritt der Turbineneinheit 130 strömende Heißgas HG bei ISO-Normbedingungen eine Temperatur von mindestens 1300°C aufweist, wobei die Lauf- und Leitschaufeln der ersten Turbinenstufe oder der zweiten Turbinenstufe in der hier beschriebenen Art und Weise ausgestaltet sind. Das in der Turbineneinheit 130 entspannte Heißgas HG verlässt dieses als Rauchgas RG.

[0048] Insgesamt wird mit der Erfindung eine Turbinenschaufel 10 mit einem Schaufelfuß 12 und einem Schaufelblatt 18 vorgeschlagen, welches sich entlang einer Spannweitenrichtung R von einem fußseitigen Ende 20 zu einer Schaufelspitze 22 und entlang einer zur Spannweitenrichtung R quer angeordneten Sehnenrichtung S von einer Vorderkante 24 zu einer Hinterkante 26 erstreckt, wobei im Inneren des Schaufelblatts 18 ein erster Kühlpfad 30 für einen ersten Kühlmittelstrom M₁ und ein zweiter Kühlpfad 50 für einen zweiten Kühlmittelstrom M₂ ausgestaltet sind, wobei der erste Kühlpfad 30 eine erste Kühlmittelpassage 32, die zu einer Zyklonkühlung der Vorderkante 24 eingerichtet ist und eine sich an die erste Kühlmittelpassage 32 anschließende zweite Kühlmittelpassage 34, die sich unterhalb der Schaufelspitze 22 von der Vorderkante 24 in Richtung der Hinterkante 26 erstreckt, umfasst, wobei der zweite Kühlpfad 50 eine Serpentina-Kühlmittelpassage 52 zur Kühlung eines in Sehnenrichtung hinter dem Vorderkantenbereich 39 angeordneten Mittelbereichs 48 des Schaufelblatts 18 und eine erste Hinterkanten-Kühlmittelpassage 54 zur zumindest teilweisen Kühlung eines in Sehnenrichtung hinter dem Mittelbereich 48 angeordneten, bis zur Hinterkante reichenden Hinterkantenbereichs 59 des Schaufelblatts 18 umfasst, wobei die erste Hinterkanten-Kühlmittelpassage 54 mit einer Vielzahl von ersten, in der Hinterkante 26 angeordneten Austrittslöchern 56 strömungstechnisch verbunden ist. Um eine Turbinenschaufel mit einem weiter reduzierten Kühlmittelverbrauch bereitzustellen wird vorgeschlagen, dass die erste Kühlmittelpassage 32 und/oder die Serpentina-Kühlmittelpassage 52 für eine geschlossene Kühlung eingerichtet ist und der erste Kühlpfad 30 eine sich an die zweite Kühlmittelpassage 34 anschließende dritte Kühlmittelpassage 38, die sich hauptsächlich radial nach innen erstreckt sowie eine, sich an die dritte Kühlmittelpassage 38 anschließende zweite Hinterkanten-Kühlmittelpassage 44

umfasst, welche zur Kühlung einer schaufelspitzenseitigen Region des Hinterkantenbereichs 59 ausgestaltet ist und mit einer Vielzahl von zweiten, in der Hinterkante 26 angeordneten Austrittslöchern 46 strömungstechnisch verbunden ist.

Patentansprüche

1. Turbinenschaufel (10) für eine insbesondere axial durchströmte Gasturbine, insbesondere für eine ihrer Hochdruck-Turbinenstufen, mit einem Schaufelfuß (12) und einem eine druckseitige Seitenwand (14) und eine saugseitige Seitenwand (16) umfassenden Schaufelblatt (18), welche Seitenwände (14, 16) sich entlang einer Spannweitenrichtung (R) von einem fußseitigen Ende (20) zu einer Schaufelspitze (22) und entlang einer zur Spannweitenrichtung (R) quer angeordneten Sehnenrichtung (S) von einer Vorderkante (24) zu einer Hinterkante (26) erstrecken, wobei im Inneren des Schaufelblatts (18) ein erster Kühlpfad (30) für einen ersten Kühlmittelstrom (M₁) und ein zweiter Kühlpfad (50) für einen zweiten Kühlmittelstrom (M₂) ausgestaltet sind, wobei der erste Kühlpfad (30)

- eine erste Kühlmittelpassage (32), die zu einer Zyklonkühlung der Vorderkante (24) eingerichtet ist und

- eine sich an die erste Kühlmittelpassage (32) anschließende zweite Kühlmittelpassage (34), die sich unterhalb der Schaufelspitze (22) von der Vorderkante (24) in Richtung der Hinterkante (26) erstreckt, umfasst,

wobei der zweite Kühlpfad (50)

- eine Serpentina-Kühlmittelpassage (52) zur Kühlung eines in Sehnenrichtung hinter dem Vorderkantenbereich (39) angeordneten Mittelbereichs (48) des Schaufelblatts (18) und

- eine erste Hinterkanten-Kühlmittelpassage (54) zur zumindest teilweisen Kühlung eines in Sehnenrichtung hinter dem Mittelbereich (48) angeordneten, bis zur Hinterkante reichenden Hinterkantenbereichs (59) des Schaufelblatts (18)

umfasst,

wobei die erste Hinterkanten-Kühlmittelpassage (54) mit einer Vielzahl von ersten, in der Hinterkante (26) angeordneten Austrittslöchern (56) strömungstechnisch verbunden ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

die erste Kühlmittelpassage (32) und/oder die Serpentina-Kühlmittelpassage (52) als geschlossene Kühlung ausgestaltet sind und der erste Kühlpfad (30)

- eine sich an die zweite Kühlmittelpassage (34)

- anschließende dritte Kühlmittelpassage (38), die sich hauptsächlich radial nach innen erstreckt sowie
- eine, sich an die dritte Kühlmittelpassage (38) anschließende zweite Hinterkanten-Kühlmittelpassage (44), welche zur Kühlung einer schaufelspitzenseitigen Region des Hinterkantenbereichs (59) ausgestaltet ist und mit einer Vielzahl von zweiten, in der Hinterkante (26) angeordneten Austrittslöchern (46) strömungstechnisch verbunden ist, umfasst.
2. Turbinenschaufel (10) nach Anspruch 1, bei der in der Schaufelspitze (22) ein oder mehrere Austrittslöcher (67) für Kühlmittel angeordnet sind, die mit der zweiten Kühlmittelpassage (34) strömungstechnisch verbunden sind.
 3. Turbinenschaufel (10) nach Anspruch 1 oder 2, bei der der erste Kühlpfad (30) eine Versorgungspassage (31) für die erste Kühlmittelpassage (32) umfasst, die
 - unmittelbar neben der ersten Kühlmittelpassage (32) angeordnet
 - sich zumindest über einen Großteil der Spannweite des Schaufelblatts (18) erstreckend
 - über eine Vielzahl von Durchtrittsöffnungen (33) derart mit der ersten Kühlmittelpassage (32) strömungstechnisch verbunden ist, dass das
 durch die Durchtrittsöffnungen (33) strömende Kühlmittel dem in der ersten Kühlmittelpassage (32) strömenden Kühlmittel (M_1) einen Drall aufprägen kann.
 4. Turbinenschaufel (10) nach Anspruch 3, bei der eine in Spannweitenrichtung (R) ermittelbare Dichte an Durchtrittsöffnungen (33) am fußseitigen Ende (20) am größten ist, und vorzugsweise zur Schaufelspitze (22) hin schrittweise oder kontinuierlich abnimmt.
 5. Turbinenschaufel (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der in jeder Hinterkanten-Kühlmittelpassage (44, 54) eine Vielzahl von in einem Muster angeordnete Sockeln (53) vorgesehen ist.
 6. Turbinenschaufel (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der zwei die zweite Kühlmittelpassage (34) erweiternde, Kühlkanalarne (36a, 36b) vorgesehen sind, die mit zunehmender Erstreckung in Sehnenrichtung sich nach radial innen aufweiten und in der dritten Kühlmittelpassage (38) münden.
 7. Turbinenschaufel (10) nach Anspruch 6, bei der zwischen der zweiten Kühlmittelpassage (34) und der Serpentina-Kühlmittelpassage (52) eine Trennwand (60) angeordnet ist, die die beiden Seitenwände (14, 16) miteinander verbindet und sich in Sehnenrichtung (S) erstreckt, wobei die Trennwand (60) mit zunehmender Annäherung zur Hinterkante (26) einen vorzugsweise spitz zulaufenden Verdrängungskeil (62) ausbildet, der in Verbindung mit den Innenflächen der beiden Seitenwände (14, 16) die zwei Kühlkanalarne (36a, 36b) seitlich begrenzt.
 8. Turbinenschaufel (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der zwischen der dritten Kühlmittelpassage (38) und der zweiten Hinterkanten-Kühlmittelpassage (44) eine sich in Spannweitenrichtung (S) erstreckende hintere Trennrippe (49h) vorgesehen ist.
 9. Turbinenschaufel nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der die Hinterkante (26) eine normierte Höhe von 100%, beginnend an ihrem fußseitigen Ende (20) bei 0% und endend an der Schaufelspitze (22) bei 100 %, aufweist, und bei der die beiden Hinterkanten-Kühlmittelpassagen (44, 54) von einer sich hauptsächlich in Sehnenrichtung (S) erstreckenden Trennrippe (64) voneinander getrennt sind, die auf einer Höhe zwischen 45% und 75% der normierten Höhe angeordnet ist.
 10. Turbinenschaufel (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der die Serpentina-Kühlmittelpassage (52) zumindest zwei sich in Spannweitenrichtung erstreckende Kanalabschnitte (55a, 55b) und zumindest zwei Umkehrabschnitte (57a, 57b) umfasst, wobei der im Kühlmittelstrom weiter stromab gelegene Umkehrabschnitt (57b) mit der ersten Hinterkanten-Kühlmittelpassage (54) unmittelbar strömungstechnisch verbunden ist.
 11. Turbinenschaufel (10) nach Anspruch 10, bei der die beiden Kanalabschnitte (55a, 55b) mittels eines Verdrängungskörpers (70) und mittels der beiden Seitenwände (14, 16) in einer Querschnittsbetrachtung des Schaufelblatts (18) im Wesentlichen jeweils C-förmig mit einem saugseitigen Kanalar (55as, 55bs), einem druckseitigen Kanalar (55ad, 55bd) und einem die beiden Kanalarne verbindenden Verbindungsarm (55av, 55bv) ausgestaltet und derart zueinander angeordnet sind, dass sie den Verdrängungskörper (70) nahezu vollständig umgeben.
 12. Turbinenschaufel nach Anspruch 11, bei der der Verdrängungskörper (70) in einer Quer-

schnittsbetrachtung einen Hohlraum (72) umgreift und über Stege (71) an den beiden Seitenwänden (14, 16) abgestützt ist.

13. Turbinenschaufel (10) nach einem der Ansprüche 11 oder 12,
bei der die Serpentina-Kühlmittelpassage (52) von
zumindest einer, vorzugsweise von zwei die druck-
seitige Seitenwand (14) mit der saugseitigen Seiten-
wand (16) verbindenden Stützrippen (66h, 66v) be-
grenzt ist, welche sich vom fußseitigen Ende zur
Schaufelspitze hin erstrecken und bei der vorzugs-
weise auf der Stützrippe (66v, 66h) bzw. an den die
Verbindungsarme (55av, 55bv) begrenzenden In-
nenflächen des Verdrängungskörpers (70) Eleme-
nte, vorzugsweise Turbulatoren, vorgesehen sind, die
eine Querströmung von Kühlmittel aus dem saug-
seitigen Kanalar (55as, 55bs) durch den Verbind-
ungsarm (55av, 55bv) in den druckseitigen Kana-
lar (55ad, 55bd) reduzieren. 5 10 15 20
14. Turbinenschaufel (10) nach Anspruch 12 oder 13,
bei der der Hohlraum (72) nicht von Kühlmittel (M)
durchströmbar ist und insbesondere keine Austritts-
öffnung für Kühlmittel (M) aufweist (Totwasser-
Hohlraum). 25
15. Turbinenschaufel (10) nach einem der Ansprüche
12 bis 14,
die gegossen ist und bei der eine nach dem Gießen
der Turbinenschaufel im Schaufelfuß (12) vorhan-
dene Öffnung (74a), die mit dem Hohlraum (72) in
direkter Verbindung steht, von einer separat herge-
stellten Abdeckplatte (76a) verschlossen ist. 30 35
16. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis
14,
die gegossen ist.
17. Turbinenschaufel (10) nach Anspruch 15 oder 16,
bei der eine nach dem Gießen der Turbinenschaufel
im Schaufelfuß (12) vorhandene Öffnung (74b), die
mit der ersten Hinterkanten-Kühlmittelpassage (54)
in direkter Verbindung steht, von einer separat her-
gestellten Abdeckplatte (76b) verschlossen ist. 40 45
18. Turbinenschaufel (10) nach einem der vorangehen-
den Ansprüche,
bei der für jeden Kühlpfad (30, 50) ein oder mehrere
Einlässe (80) vorgesehen sind, die mit der ersten
Kühlmittelpassage (32) bzw. der Versorgungspas-
sage (31) oder mit der Serpentina-Kühlmittelpas-
sage (52) bzw. einem ihrer Kanalabschnitte (55a)
unmittelbar strömungstechnisch verbunden sind. 50 55
19. Turbinenschaufel (10) nach einem der vorangehen-
den Ansprüche,
mit einem Schaufelblatt-Aspektverhältnis HSP/SL

von einer Hinterkanten-Spannweite (HSP) bezogen
auf eine am fußseitigen Ende zu erfassenden Seh-
nenlänge (SL), welches 3,0 oder kleiner ist.

20. Verwendung einer Turbinenschaufel (10) nach ei-
nem der vorangehenden Ansprüche in einer ersten
oder zweiten Turbinenstufe einer stationären Gastur-
bine mit einer bei
ISO-Nennbetrieb auftretenden Turbineneintritts-
temperatur von mindestens 1300°C und/oder mit ei-
nem bei ISO-Nennbetrieb auftretenden Verdichter-
druckverhältnis von 19:1 oder größer.

FIG 1

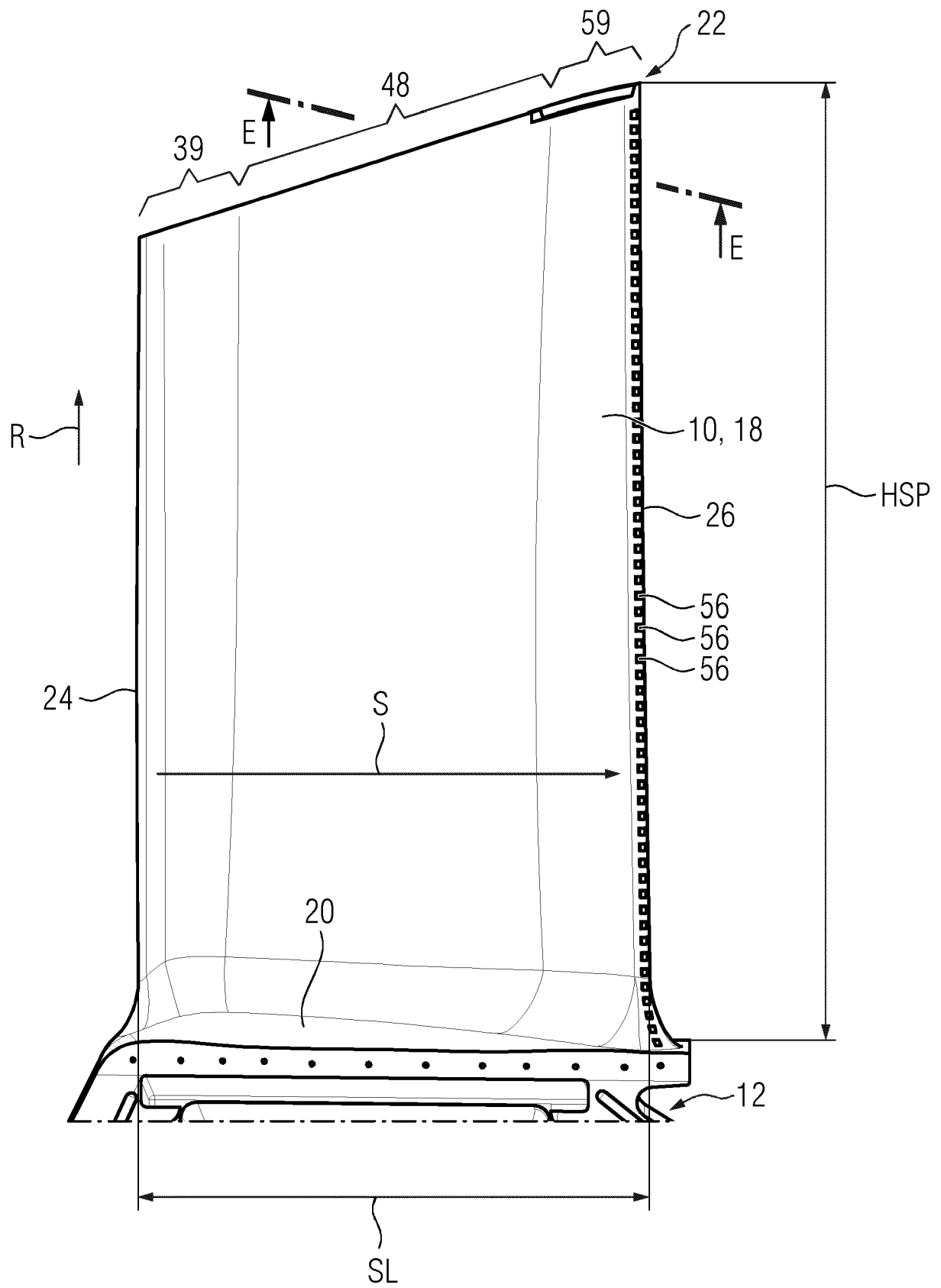


FIG 2

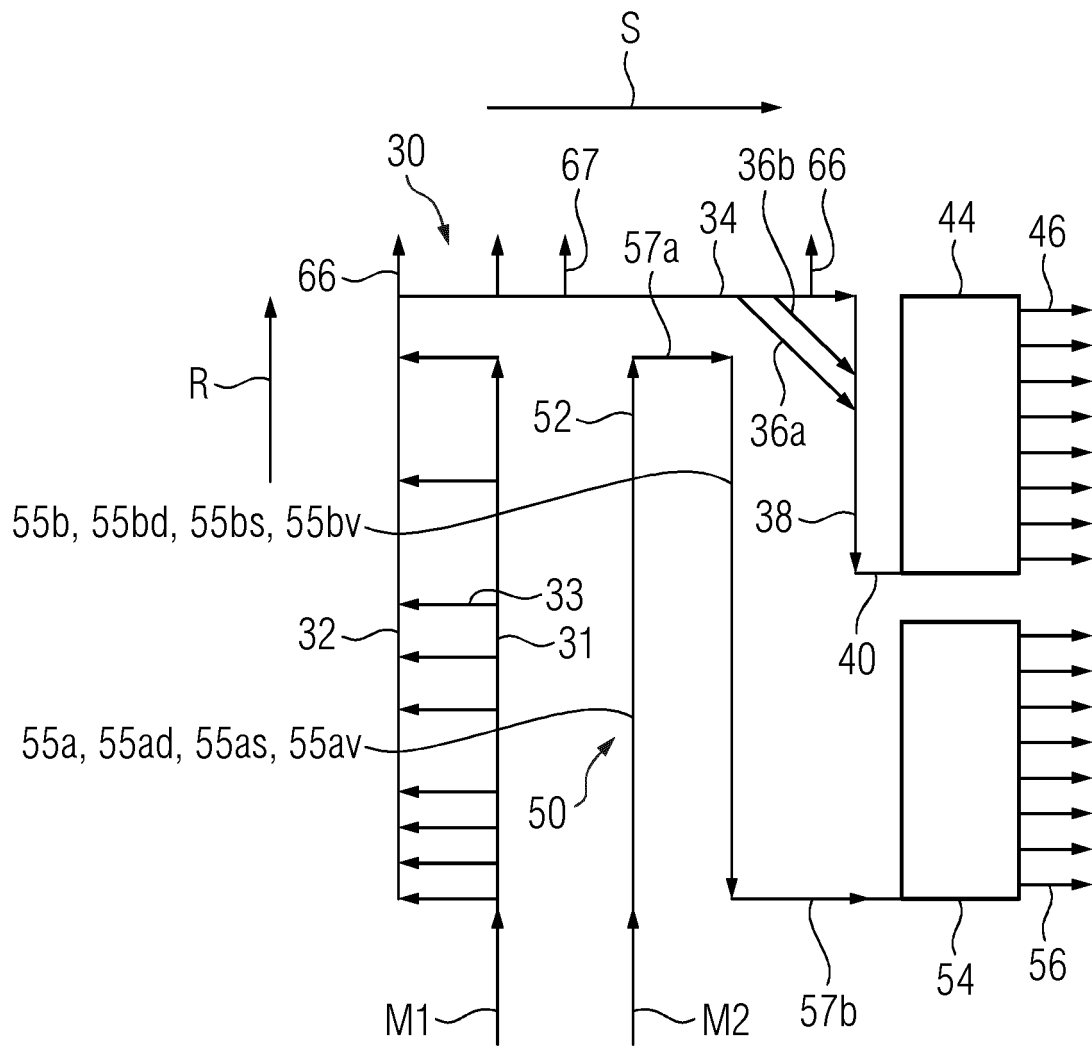


FIG 3

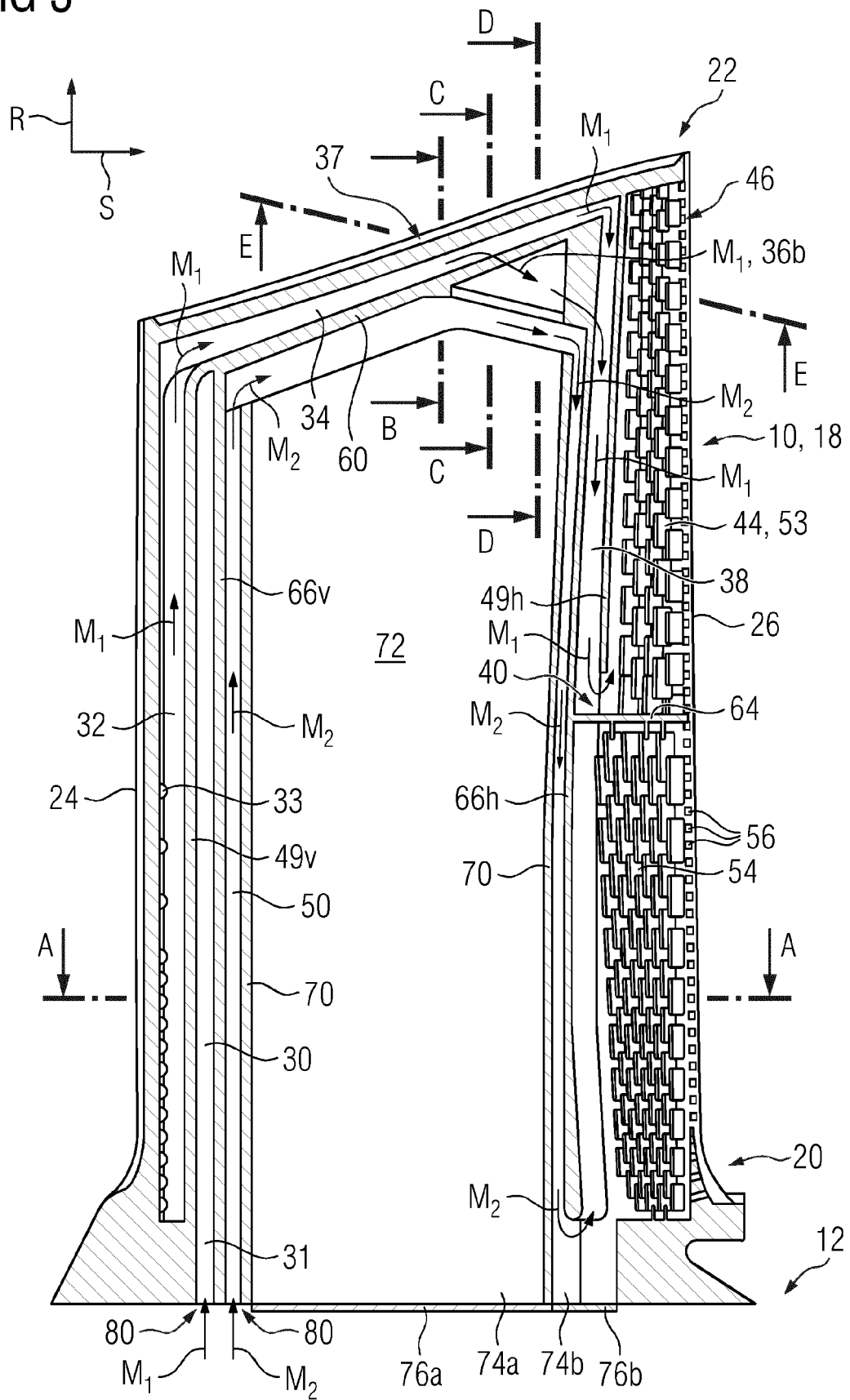


FIG 4

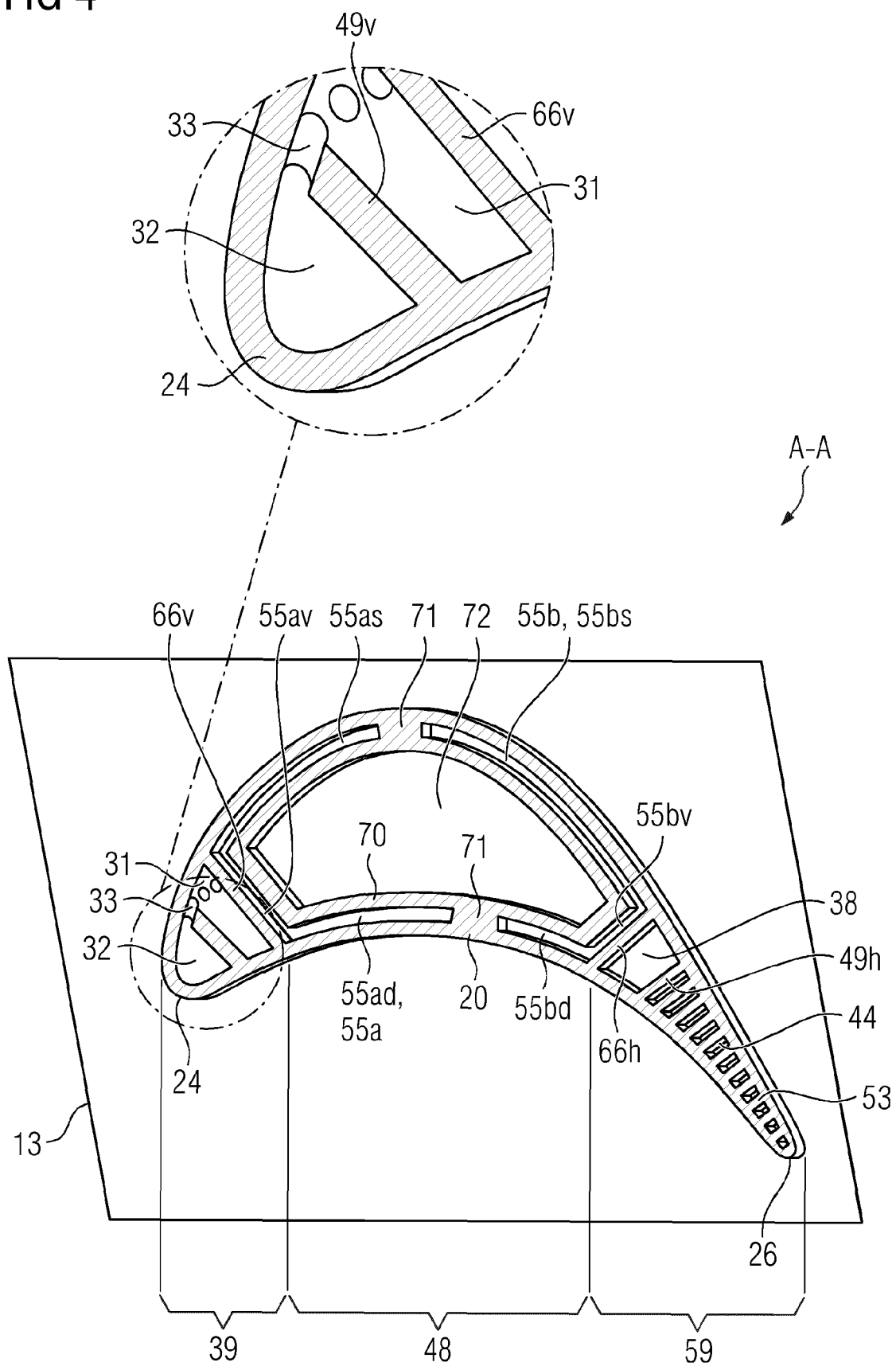


FIG 5

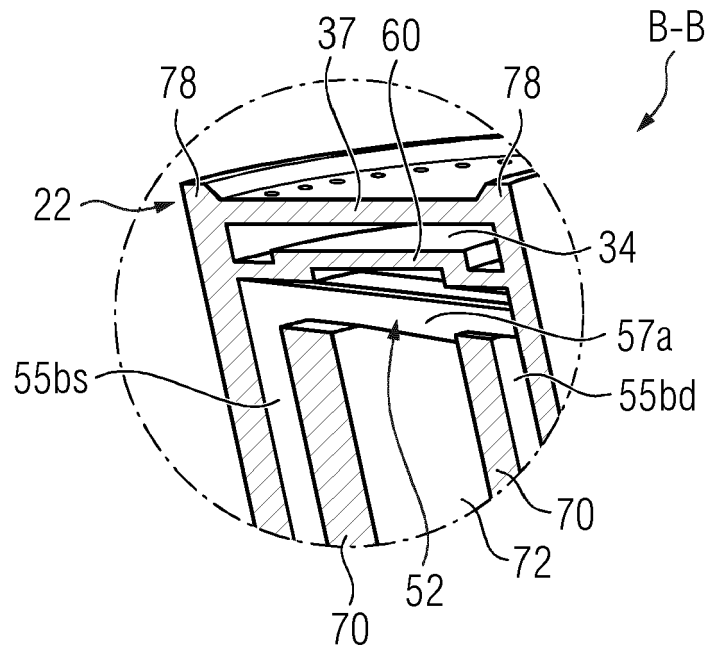


FIG 6

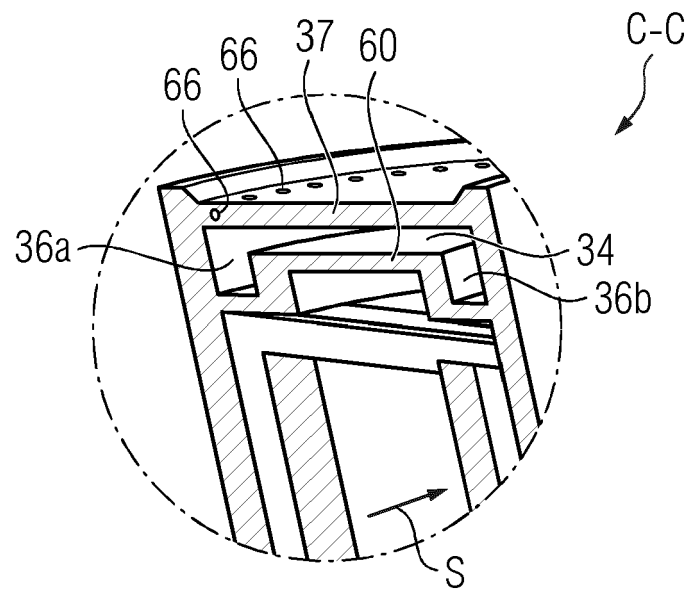


FIG 7

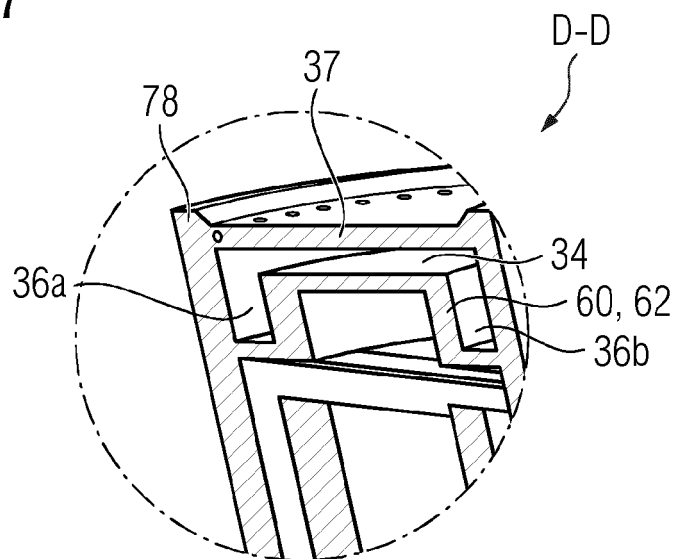


FIG 8

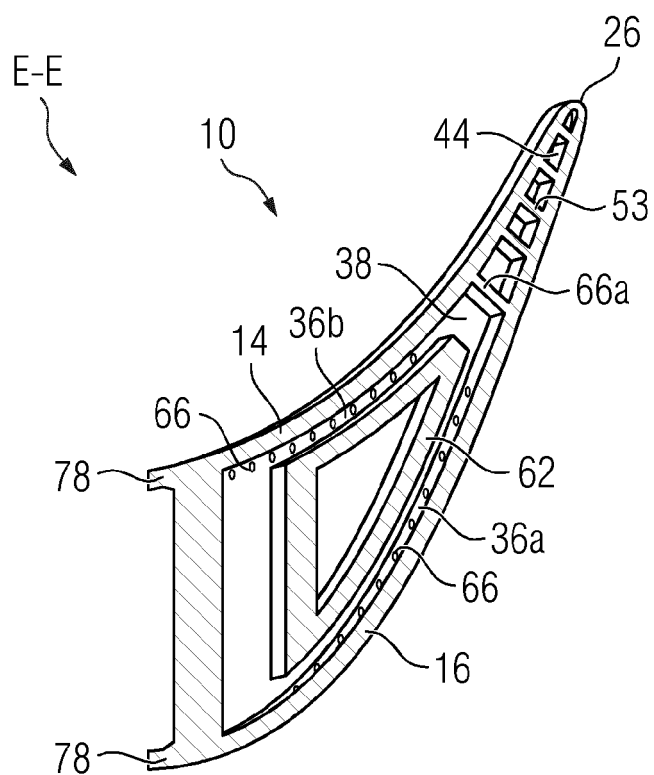
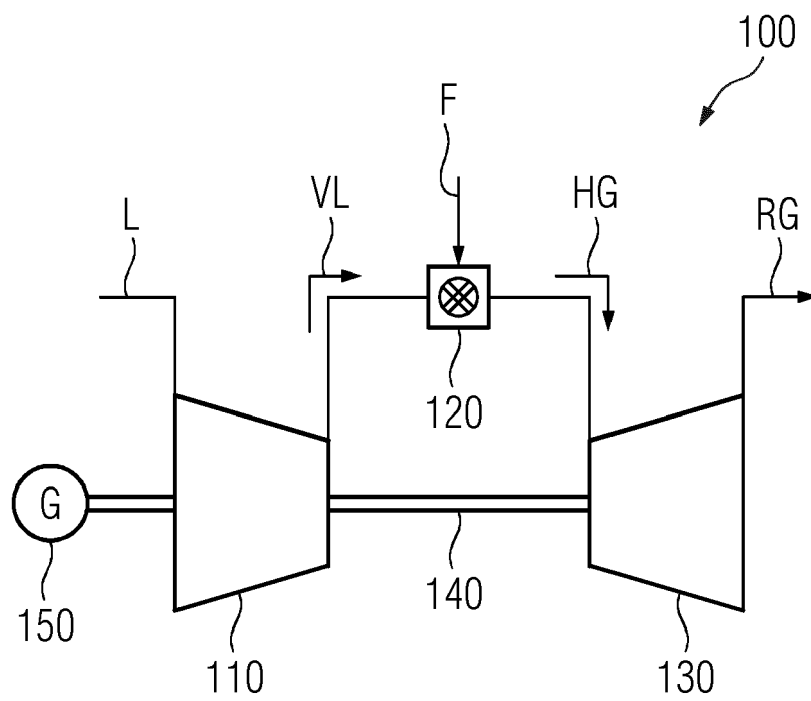


FIG 9





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 19 21 4178

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	US 2010/239431 A1 (LIANG GEORGE [US]) 23. September 2010 (2010-09-23)	1,5,8,9,16,18-20	INV. F01D5/18
A	* Abbildungen 1-2 * * Absatz [0019] * * Absatz [0021] * * Absatz [0025] *	2-4,6,7,10-15,17	ADD. F01D5/20
A	----- WO 2016/076834 A1 (SIEMENS AG [DE]; SIEMENS ENERGY INC [US]) 19. Mai 2016 (2016-05-19) * Abbildung 3 *	1-20	
A	----- US 8 628 298 B1 (LIANG GEORGE [US]) 14. Januar 2014 (2014-01-14) * Zusammenfassung; Abbildung 6 *	1-20	
A	----- WO 2016/043742 A1 (SIEMENS AG [DE]; SIEMENS ENERGY INC [US]) 24. März 2016 (2016-03-24) * Abbildung 5 * * Seite 8, Zeile 16 - Seite 8, Zeile 29 *	1-20	
A	----- US 2005/084370 A1 (GROSS HEINZ-JURGEN [DE]) 21. April 2005 (2005-04-21) * Abbildungen 1-3 *	1-20	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01D
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München		20. Mai 2020	Alaguero, Daniel
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 03.82 (P04C03)

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

EP 19 21 4178

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.

20-05-2020

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2010239431 A1	23-09-2010	KEINE	
WO 2016076834 A1	19-05-2016	CN 107109949 A	29-08-2017
		EP 3218582 A1	20-09-2017
		JP 6434145 B2	05-12-2018
		JP 2018500491 A	11-01-2018
		US 2018298763 A1	18-10-2018
		WO 2016076834 A1	19-05-2016
US 8628298 B1	14-01-2014	KEINE	
WO 2016043742 A1	24-03-2016	CN 106715834 A	24-05-2017
		EP 3194726 A1	26-07-2017
		JP 2017534791 A	24-11-2017
		US 2017275998 A1	28-09-2017
		WO 2016043742 A1	24-03-2016
US 2005084370 A1	21-04-2005	KEINE	

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 199615358 A1 **[0003]**
- WO 2017039571 A1 **[0004]**
- EP 1783327 A2 **[0004]**