

(19)



(11)

EP 2 846 000 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
08.04.2020 Patentblatt 2020/15

(51) Int Cl.:
F01D 5/14^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14184094.2**

(22) Anmeldetag: **09.09.2014**

(54) **Turbinenleitrad einer Gasturbine**

Vane ring of a gas turbine

Roue statorique d'une turbine à gaz

(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

(30) Priorität: **09.09.2013 DE 102013217997**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
11.03.2015 Patentblatt 2015/11

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

(72) Erfinder:
• **Willer, Lars**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)

• **Lehmann, Knut**
15827 Blankenfelde - Mahlow (DE)
• **Amtsfeld, Philipp**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)

(74) Vertreter: **Maikowski & Ninnemann**
Patentanwälte Partnerschaft mbB
Postfach 15 09 20
10671 Berlin (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 1 522 679 DE-A1- 10 054 244
DE-A1-102005 025 213 DE-A1-102009 036 406
DE-B3-102004 009 696

EP 2 846 000 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Turbinenleitrad, insbesondere ein Hochdruckturbinenleitrad einer Gasturbine, insbesondere zur Verwendung bei einem Gasturbinentriebwerk.

[0002] Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, dass die Leitschaufeln eines Turbinenleitrades insbesondere nach aerodynamischen Anforderungen ausgelegt werden müssen. Dabei spielt zum Einen die Konturierung des Schaufelquerschnitts an der Saugseite und an der Druckseite eine große Rolle. Wichtig ist dabei auch die Ausgestaltung der Schaufelpassage zwischen benachbarten Leitschaufeln, da der zur Verfügung stehende Strömungsquerschnitt durch die Passage den Wirkungsgrad des Leitrades mitbestimmt.

[0003] Bei der aerodynamischen Gestaltung ist jedoch insbesondere die Sicherstellung der Rückbrandfähigkeit der Leitschaufeln des Leitrades zu berücksichtigen. Unter Rückbrandfähigkeit des Leitrades ist in diesem Zusammenhang zu verstehen, dass beim Betrieb der Gasturbine insbesondere die Hinterkante des ersten Leitrades der Hochdruckturbine unter den auftretenden extremen thermischen Belastungen abbrennen kann. Dies bedeutet, dass sich die Leitschaufel, ausgehend von der Schaufelhinterkante, durch den Rückbrand verkürzt. Da das erste Leitrad einer Hochdruckturbine den Durchfluss durch die gesamte Turbomaschine maßgeblich bestimmt, ist die Einhaltung des Durchflusses (der Kapazität) des ersten Leitrades von entscheidender Bedeutung, damit die gesamte Turbomaschine und alle Einzelkomponenten weiter bei einem Nominalmassenstrom im Auslegungspunkt arbeiten können. Es ist somit erforderlich, dass der Durchfluss (Kapazität) der Turbine sich durch den Rückbrand nicht wesentlich ändert.

[0004] Um das Rückbrandkriterium eines Turbinenleitrades sicherzustellen, muss der Passagenquerschnitt innerhalb des Leitrades stromauf des Engquerschnittes (also in Richtung des fortschreitenden Rückbrandes der Schaufelhinterkante) annähernd konstant bleiben, damit auch bei Rückbrand der thermisch hoch belasteten Hinterkante der dann effektive Passagenengquerschnitt ebenfalls annähernd konstant bleibt. So wird sichergestellt, dass der Durchfluss auch bei Rückbrand ähnlich bleibt. Eine solche Ausgestaltung ist beispielsweise aus der Figur 4 der DE 10 2005 025 213 A1 bekannt.

[0005] Weitere Beispiele von Turbinenleiträdern, bei denen die Leitschaufeln auf der Druckseite eine konvexe Druckseitenkontur aufweisen, zeigen die DE 10 2004 009 696 B3 und die DE 100 54 244 A1.

[0006] Der Nachteil bei den aus dem Stand der Technik bekannten Leitradauslegungen ist, dass das aerodynamische Design nicht verlustoptimiert ausgelegt werden kann, da die im allgemeinen vorteilhafte Auslegung mit starker aerodynamischer Belastung im hinteren Saugseitenbereich ("Rear-Loaded-Design") das Rückbrandkriterium nachhaltig verletzt. Es muss also immer ein Kompromiss bei der aerodynamischen Auslegung

eingegangen werden, damit die Rückbrandfähigkeit sichergestellt ist. Das wiederum verringert den Turbinenwirkungsgrad und erhöht den spezifischen Treibstoffverbrauch (SFC) der Turbomaschine.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Turbinenleitrad der eingangs genannten Art zu schaffen, welches bei einfachem Aufbau und einfacher Ausgestaltung einen hohen Wirkungsgrad aufweist, während gleichzeitig das erwähnte Rückbrandkriterium eingehalten wird. Insbesondere im Falle eines Rückbrandes soll die Turbinenkapazität weitestgehend unverändert bleiben, damit das Gesamttriebwerk mit seinen Einzelkomponenten weiter im Auslegungspunkt betrieben werden kann.

[0008] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmalskombination des Anspruchs 1 gelöst. Die Unteransprüche zeigen vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0009] Danach betrachtet die erfindungsgemäße Lösung ein Turbinenleitrad, bei dem zwei benachbarte Leitschaufeln jeweils eine Passage ausbilden, welche einen konstanten Passagenabschnitt umfasst. Der konstante Passagenabschnitt zeichnet sich dadurch aus, dass er einen im Wesentlichen konstanten Passagenquerschnitt aufweist. Der konstante Passagenabschnitt weist einen Eintrittsbereich in den konstanten Passagenabschnitt und einen Austrittsbereich auf. Der Austrittsbereich befindet sich an der Schaufelhinterkante und ist identisch mit dem engsten Querschnitt (Engquerschnitt) der Passage. Jede Leitschaufel bildet druckseitig einen hinteren Bereich aus, der sich ausgehend von der Schaufelhinterkante angrenzend an den konstanten Passagenabschnitt bis zum Eintrittsbereich des Passagenabschnitts erstreckt sowie einen vorderen Bereich aus, der sich stromaufwärts des hinteren Bereichs erstreckt. Der hintere Bereich ist somit derjenige Bereich der Druckseite der Leitschaufel, der den konstanten Passagenabschnitt begrenzt.

[0010] Es ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Leitschaufeln auf der Druckseite eine konvexe Druckseitenkontur aufweisen, die einen Übergang vom hinteren Bereich der Leitschaufel zum vorderen Bereich der Leitschaufel herstellt.

[0011] Die erfindungsgemäße Lösung stellt eine konvexe Druckseitenkontur auf der Druckseite der Leitschaufel bereit, und zwar derart, dass durch die konvexe Druckseitenkontur ein Übergang von einem hinteren Bereich der Leitschaufel, in dem ein konstanter Passagenabschnitt vorliegt, zu einem vorderen Bereich der Leitschaufel hergestellt wird. Der hintere Bereich der Leitschaufel ist somit über die konvexe Druckseitenkontur mit dem vorderen Bereich der Leitschaufel verbunden.

[0012] Durch die konvexe Druckseitenkontur bzw. die durch diese bereitgestellte konvexe Wölbung der Druckseite wird ermöglicht, die Passage zwischen zwei Leitschaufeln über eine bestimmte Länge konstant auszubilden, auch wenn die benachbarte Leitschaufel zur Realisierung eines verlustoptimierten Turbinenleitrades

saugseitig mit einer erheblichen konvexen Krümmung versehen ist, die - ohne eine Kompensation durch die konvexe Druckseitenkontur - zu einer erheblichen Passagenaufweitung führen würde. Durch die Erfindung wird somit eine Rückbrandfähigkeit sichergestellt auch für den Fall, dass ein verlustoptimiertes Turbinenleitrads mit Leitschaufeln mit erheblicher konvexer Krümmung der Saugseite im Bereich des Engquerschnitts vorgesehen ist.

[0013] Während bei im Stand der Technik bekannten Konstruktionen die Wandungen der Saugseite und der Druckseite angrenzend an die Schaufelhinterkante im Wesentlichen geradlinig oder mit gleichmäßiger Krümmung ausgebildet sind und somit einen keilförmigen Querschnittsbereich der Leitschaufel bilden, sieht die erfindungsgemäße Lösung somit vor, dass die Wandung der Druckseite der Leitschaufel eine konvexe Druckseitenkontur, das heißt eine konvexe Wölbung ausbildet, die den Übergang zwischen dem hinteren Bereich der Leitschaufel, die an den konstanten Passagenabschnitt angrenzt, und dem sich stromauf dazu erstreckenden vorderen Bereich bildet.

[0014] Die Erfindung stellt durch eine konvexe Konturierung der Druckseite der Leitschaufel des Leitrades die Rückbrandfähigkeit her, ohne dass die aerodynamische Auslegung der Saugseite der Leitschaufel beeinflusst wird. Erfindungsgemäß ist es daher möglich, die Saugseite der Leitschaufel des Leitrades frei zu definieren und verlusttechnisch optimal zu gestalten und dabei Leitschaufeln mit erheblicher konvexer Krümmung der Saugseite im Bereich des Engquerschnitts oder benachbart des Engquerschnitts zu realisieren. Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung der druckseitigen Kontur der Leitschaufel wird sichergestellt, dass bei einem Rückbrand der Querschnitt der Passage zwischen benachbarten Leitschaufeln im Wesentlichen konstant bleibt, so dass der Durchfluss (Kapazität) der Turbine und damit die Effizienz des Gesamttriebwerks durch einen Rückbrand nicht oder nur unwesentlich beeinflusst werden.

[0015] Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Profildicke der Leitschaufeln in Richtung der Schaufelhinterkante vor dem hinteren Bereich der Leitschaufeln ansteigt oder konstant ist oder in geringerem Maße abnimmt als im hinteren Bereich der Leitschaufel. Mit anderen Worten sieht diese Ausgestaltung vor, dass die Profildicke in Richtung der Schaufelhinterkante vor dem Eintrittsbereich in die Passage ansteigt oder konstant ist oder in geringerem Maße abnimmt als im Bereich des konstanten Passagenabschnitts. Dies korrespondiert mit der Ausbildung der konvexen Druckseitenkontur auf der Druckseite der Leitschaufel, die gerade dafür sorgt, dass die Profildicke der Leitschaufeln vor dem konstanten Passagenabschnitt ansteigt, im Wesentlichen konstant ist oder nur geringfügig abnimmt, verglichen mit einer dann stärkeren Abnahme der Profildicke im hinteren Bereich der Leitschaufel bis hin zur Schaufelhinterkante.

[0016] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die konvexe Druckseitenkontur am oder stromaufwärts des Eintrittsbereichs in den konstanten Passagenquerschnitt ein Maximum ausbildet. Weiter kann vorgesehen sein, dass die konvexe Druckseitenkontur am oder stromauf des Eintrittsbereichs in den konstanten Passagenquerschnitt ein Maximum der Wölbung ausbildet. Das Maximum der Wölbung ist dabei nahe dem lokal am weitesten von der Druckseite abstehenden Punkt oder nahe der lokal am weitesten von der Druckseite abstehende Linie der Druckseitenkontur. Das Maximum und/oder das Maximum der Wölbung befinden sich somit nicht im hinteren Bereich der Leitschaufel, sondern im vorderen Bereich der Leitschaufel, dabei jedoch bevorzugt in geringem Abstand zum hinteren Bereich (z.B. in einem Abstand, der maximal 10% der Länge der Skelettlinie entspricht) oder unmittelbar am Übergang der beiden Bereiche.

[0017] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die konvexe Druckseitenkontur auf der Druckseite der Leitschaufeln überwiegend oder vollständig im vorderen Bereich der Leitschaufel ausgebildet ist. Dabei kann vorgesehen sein, dass ein Teil der konvexen Druckseitenkontur zusätzlich im hinteren Bereich der Leitschaufel ausgebildet ist. Grundsätzlich kann im hinteren Bereich der Leitschaufel, der den konstanten Passagenabschnitt begrenzt, jedoch auch eine geradlinige oder sogar konkave Wölbung bereitgestellt sein, die in die konvexe Druckseitenkontur übergeht.

[0018] Im Sinne der vorliegenden Erfindung liegt ein im Wesentlichen konstanter Passagenquerschnitt vor, wenn der Passagenquerschnitt nicht mehr als 5% vom Engquerschnitt im Bereich der Schaufelhinterkante abweicht. Bevorzugt ist diese Abweichung vom Engquerschnitt geringer und liegt bei weniger als 2% des Engquerschnitts. Idealerweise ist der Passagenquerschnitt im konstanten Passagenabschnitt exakt konstant. Weiter kann vorgesehen sein, dass der konstante Passagenabschnitt sich über eine Sehnenlänge erstreckt, die beispielsweise im Bereich zwischen 5% und 40% der Gesamtsehnenlänge liegt und dabei beispielsweise bei etwa 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% oder 40% der Gesamtsehnenlänge liegt.

[0019] Grundsätzlich kann vorgesehen sein, dass die konvexe Druckseitenkontur sich über die gesamte Höhe der Leitschaufel erstreckt. Des Weiteren kann vorgesehen sein, dass sich die Druckseitenkontur zumindest über einen Teilbereich der Schaufelhöhe (zum Beispiel über mindestens 50 % oder mindestens 70 % der Schaufelhöhe) erstreckt. Es ist des Weiteren möglich, dass die Ausgestaltung der Wölbung über der Schaufelhöhe variiert.

[0020] Besonders günstig ist es, wenn die Leitschaufel, ausgehend von der Schaufelhinterkante, anschließend an den konvexen Bereich mit einem konkaven Bereich versehen ist. Diese Ausgestaltung führt insbesondere zu einer optimalen Oberflächendruckverteilung auf der Schaufeloberfläche.

Erfindungsgemäß ergeben sich folgende Vorteile:

[0021] Erfindungsgemäß ergibt sich eine aerodynamische Effizienzsteigerung, da gegenüber einer Ausgestaltung der Leitschaufeln gemäß dem Stand der Technik eine Erhöhung des Stufenwirkungsgrades eintritt.

[0022] Ein weiterer Vorteil ergibt sich hinsichtlich der mechanischen Stabilität. Durch die konvexe Druckseitenkontur der Leitschaufel ergibt sich, verglichen mit dem Stand der Technik, ein wesentlich höherer Keilwinkel, angrenzend an die Schaufelhinterkante. Somit ist das Profil im Hinterkantenbereich dicker. Dies wiederum führt zu einer erhöhten mechanischen Stabilität, aus welcher sich eine weitaus geringere Verformung der Hinterkante unter thermischer Belastung im Betrieb ergibt.

[0023] Auch hinsichtlich des Kühlluftverbrauchs weist das erfindungsgemäße Turbinenleitrad erhebliche Vorteile auf. Da die Schaufelkontur im Hinterkantenbereich eine größere Dicke aufweist, ist es möglich, die interne Kühlungsgeometrie weiter in Richtung der Schaufelhinterkante auszudehnen. Dies kann beispielsweise durch weiter hinten liegende sogenannte pedestal banks erfolgen. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit, Kühlluft einzusparen, da der schwer zu kühlende und thermisch am höchsten belastete Hinterkantenüberhang in seiner Länge reduziert werden kann.

[0024] Durch den mechanisch stabileren und besser zu kühlenden Hinterkantenbereich ergibt sich bei der erfindungsgemäßen Ausgestaltung des Querschnitts der Leitschaufeln eine höhere Lebensdauer.

[0025] Ein weiterer Vorteil ergibt sich hinsichtlich der Stabilität der Triebwerkeigenschaften und der Turbineneffizienz im langfristigen Betrieb. Der Triebwerksdurchfluss verändert sich im langfristigen Betrieb aufgrund der stabileren und besser zu kühlenden Schaufelhinterkante weniger stark. Das Absinken des Hochdruckturbinenwirkungsgrades aufgrund des Anstiegs der Hinterkantenverluste infolge des Rückbrandes verringert sich.

[0026] Ein weiterer, wesentlicher Vorteil ergibt sich durch Kosteneinsparungen durch die höhere Lebensdauer und durch verringerte Triebwerksentwicklungskosten. Die Triebwerksentwicklungskosten können wegen der sicheren Kapazitätsvorhersage gesenkt werden, da die Notwendigkeit der nachträglichen Kapazitätsänderung reduziert wird. Auch die Triebwerksentwicklungszeit kann verkürzt werden.

[0027] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit der Zeichnung beschrieben. Dabei zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Gasturbinenriebwerks gemäß der vorliegenden Erfindung,

Fig. 2 eine Teilansicht eines Turbinenleitrads gemäß dem Stand der Technik,

Fig. 3 eine Ansicht eines ersten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels,

Fig. 4 eine Ansicht eines zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels,

Fig. 5 eine Vergleichsansicht der Ausgestaltung gemäß dem Stand der Technik (linke Bildhälfte) und der erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels der Fig. 4 (rechte Bildhälfte), und

Fig. 6 in der oberen Bildhälfte die statischen Oberflächendrücke der Ausgestaltung gemäß dem Stand der Technik (entsprechend Fig. 5 links) sowie in der unteren Bildhälfte die statischen Oberflächendrücke der Ausgestaltung gemäß einem erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel (entsprechend Fig. 5 rechts).

[0028] Das Gasturbinenriebwerk 10 gemäß Fig. 1 ist ein allgemein dargestelltes Beispiel einer Turbomaschine, bei der die Erfindung Anwendung finden kann. Das Triebwerk 10 ist in herkömmlicher Weise ausgebildet und umfasst in Strömungsrichtung hintereinander einen Lufteinlass 11, einen in einem Gehäuse umlaufenden Fan 12, einen Mitteldruckkompressor 13, einen Hochdruckkompressor 14, eine Brennkammer 15, eine Hochdruckturbinen 16, eine Mitteldruckturbine 17 und eine Niederdruckturbinen 18 sowie eine Abgasdüse 19, die sämtlich um eine zentrale Triebwerksachse 1 angeordnet sind.

[0029] Der Mitteldruckkompressor 13 und der Hochdruckkompressor 14 umfassen jeweils mehrere Stufen, von denen jede eine in Umfangsrichtung verlaufende Anordnung fester stationärer Leitschaufeln 20 aufweist, die allgemein als Statorschaufeln bezeichnet werden und die radial nach innen vom Kerntriebwerksgehäuse 21 in einem ringförmigen Strömungskanal durch die Kompressoren 13, 14 vorstehen. Die Kompressoren weisen weiter eine Anordnung von Kompressorlaufschaufeln 22 auf, die radial nach außen von einer drehbaren Trommel oder Scheibe 26 vorstehen, die mit Naben 27 der Hochdruckturbinen 16 bzw. der Mitteldruckturbine 17 gekoppelt sind.

[0030] Die Turbinenabschnitte 16, 17, 18 weisen ähnliche Stufen auf, umfassend eine Anordnung von festen Leitschaufeln 23, die radial nach innen vom Gehäuse 21 in den ringförmigen Strömungskanal durch die Turbinen 16, 17, 18 vorstehen, und eine nachfolgende Anordnung von Turbinenlaufschaufeln 24, die nach außen von einer drehbaren Nabe 27 vorstehen. Die Kompressortrommel oder Kompressorscheibe 26 und die darauf angeordneten Schaufeln 22 sowie die Turbinenrotornabe 27 und die darauf angeordneten Turbinenlaufschaufeln 24 drehen sich im Betrieb um die Triebwerksachse 1.

[0031] Die Fig. 2 zeigt eine Ansicht eines aus dem Stand der Technik bekannten Turbinenleitrads bei stirnseitiger Sicht auf benachbarte Leitschaufeln 23. Diese weisen jeweils eine Druckseite 30 sowie eine Saugseite 31 auf und bilden eine Passage 29, durch welche die aus

der Brennkammer austretenden Heißgase strömen. Aus der Darstellung der Fig. 2 ergibt sich, dass im Bereich einer Schaufelhinterkante 32 die Passage 29 einen engsten Querschnitt (Engquerschnitt 36) aufweist. Dieser ist im Hinblick auf die Soll-Profilform der Leitschaufeln 23 ausgebildet. Durch die thermische Belastung während des Betriebes erfolgt ein Abbrennen des Bereichs der Schaufelhinterkante 32, so dass sich ein Rückbrand 35 ergibt. Dies bedeutet, dass die schraffierte Fläche des Schaufelprofils abbrennt. Hierdurch ergibt sich ein wirksamer Passagenquerschnitt 37, welcher gegenüber dem Engquerschnitt 36 erheblich aufgeweitet ist und folglich zu einer deutlichen Reduzierung des Wirkungsgrades führt. Mit der Aufweitung des Passagenquerschnitts ändern sich der Durchfluss und die Kapazität.

[0032] Die beschriebene Problematik ist umso größer, je stärker das Tubinenleitrad als verlustoptimiertes Turbinenleitrad ausgebildet ist und hierfür Leitschaufeln 23 aufweist, die auf der Saugseite 31 im Bereich des Engquerschnitts 36 oder angrenzend an den Engquerschnitt 36 mit einer erheblichen konvexen Krümmung versehen sind, was im Falle eines Rückbrandes zu einer erheblichen Passagenaufweitung führt.

[0033] Die Figur 3 zeigt eine Ansicht eines erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels. Die Leitschaufeln 23 weisen wiederum eine Druckseite 30 und eine Saugseite 31 auf, wobei zwei benachbarte Leitschaufeln 23 zwischen der Saugseite 31 der einen Leitschaufel und der Druckseite 30 der anderen Leitschaufel ausgehend von der Schaufelhinterkante 32 eine Passage 29 ausbilden, durch die aus der Brennkammer austretenden Heißgase strömen. Dabei ist vorgesehen, dass die Passage 29 einen konstanten Passagenabschnitt 29a umfasst, in dem die Passage 29 einen im Wesentlichen konstanten Passagenquerschnitt 37 aufweist.

[0034] Der konstante Passagenabschnitt 29a weist einen Eintrittsbereich 38 und einen Austrittsbereich 36 auf, die im Wesentlichen den gleichen Passagenquerschnitt besitzen.

[0035] Der Austrittsbereich 36 wird dabei durch die Schaufelhinterkante 32 begrenzt, so dass der Austrittsbereich 36 dem Engquerschnitt der Passage 29 entspricht.

[0036] Die Aussage, dass der Passagenquerschnitt 37 im konstanten Passagenabschnitt 29a im Wesentlichen konstant ist, bedeutet, dass die Abweichung des Passagenquerschnitts 37 vom Engquerschnitt in diesem konstanten Passagenabschnitt 29a unterhalb eines definierten Wertes liegt, der als 5 % des Engquerschnitts definiert wird.

[0037] Die Leitschaufel 23 bildet des Weiteren druckseitig einen hinteren Bereich 320 aus, der sich ausgehend von der Schaufelhinterkante 32 angrenzend an den konstanten Passagenabschnitt 29a bis zum Eintrittsbereich 38 des konstanten Passagenabschnitts 29a erstreckt. Der druckseitige hintere Bereich 320 der Leitschaufel ist also jener Bereich, der druckseitig den konstanten Passagenabschnitt 29a begrenzt. Stromauf-

wärts des hinteren Bereichs 320 erstreckt sich ein vorderer Bereich 310, der grundsätzlich bis zur Schaufelvorderkante verläuft, von dem für die Zwecke der vorliegenden Erfindung aber nur der sich an den hinteren Bereich 320 angrenzende Bereich im Einzelnen betrachtet wird.

[0038] Die Leitschaufel 23 weist auf der Druckseite 30 des Weiteren eine konvexe Druckseitenkontur 33 auf, die einen Übergang von dem hinteren Bereich 320 zu dem vorderen Bereich 310 herstellt. Dies bedeutet, dass die konvexe Druckseitenkontur 33 im Übergangsbereich zwischen den beiden Bereichen 310 und 320 ausgebildet ist, wobei sie sich ausschließlich im vorderen Bereich 310 oder alternativ über beide Bereiche 310, 320 erstrecken kann. Die konvexe Druckseitenkontur 33 besitzt ein Maximum M, das in der Querschnittsansicht der Figur 3 den Punkt angibt, in dem die durch die konvexe Druckseitenkontur 33 bereitgestellte Wölbung lokal am stärksten von der Druckseite 30 absteht.

[0039] Einher gehend mit der konvexen Druckseitenkontur 33 ist ein bestimmter Verlauf der Profildicke d der Leitschaufel 23. Wenn man den Verlauf der Profildicke d in Richtung der Schaufelhinterkante 32 betrachtet, so verhält es sich so, dass die Profildicke d vor dem hinteren Bereich 320 (bzw. vor dem Eintrittsbereich 38) ansteigt oder konstant ist, wie anhand der Profildicken d1 und d2 der Figur 3 veranschaulicht ist. Im hinteren Bereich 320 der Leitschaufel nimmt die Profildicke d dagegen relativ stark ab, wie beispielhaft anhand der Profildicke d3 dargestellt ist. Alternativ kann auch vorgesehen sein, dass die Profildicke vor dem hinteren Bereich 320 zwar nicht ansteigt oder konstant ist, jedoch in nur geringerem Maße (d.h. um einen kleineren Wert pro Längeneinheit) abnimmt, als dann im hinteren Bereich 320. Dieser Verlauf der Profildicke d korrespondiert mit der Realisierung eines Maximums M der durch die konvexe Druckseitenkontur 33 bereitgestellten Wölbung vor oder am Eintrittsbereich in den konstanten Passagenabschnitt 29a.

[0040] Die Bereitstellung einer konvexen Druckseitenkontur 33 führt zu einer Erhöhung des Keilwinkels zwischen den Oberflächen der Druckseite 30 und der Saugseite 31 im angrenzenden Bereich an die Schaufelhinterkante 32 und insbesondere zu einer Vermeidung der Aufweitung des Passagenquerschnitts im Falle eines Rückbrandes. Eine solche Aufweitung wird gerade dadurch vermieden, dass durch die erfindungsgemäße Lösung ein konstanter Passagenabschnitt 29a bereitgestellt wird, so dass sich der Engquerschnitt bei einem Rückbrand 35 im Bereich dieses konstanten Passagenabschnitts 29a nicht ändert. Ein Rückbrand 35 ist in der Figur 3 stark überhöht eingezeichnet, um die Wirksamkeit der Erfindung besser erläutern zu können. Es ergibt sich, dass der Passagenquerschnitt 37 im konstanten Passagenquerschnitt 29a im Falle eines Rückbrandes im Wesentlichen gleich bleibt, da der Engquerschnitt 36 in diesem Abschnitt im Wesentlichen gleich dem Passagenquerschnitt 37 ist.

[0041] Die Figur 4 zeigt ein weiteres erfindungsgemä-

ßes Ausführungsbeispiel zweier Leitschaufeln 23 eines Turbinenleittrads. Grundsätzlich entspricht das Ausführungsbeispiel dem Ausführungsbeispiel der Figur 3, auf das im Hinblick auf die verwendeten Bezugszeichen Bezug genommen wird. So ist wiederum vorgesehen, dass durch Bereitstellung einer konvexen Druckseitenkontur 33 auf der Druckseite 30 der Leitschaufel 23 dem hinteren Bereich 320 der Leitschaufel 23 eine Form gegeben wird, die es erlaubt, einen konstanten Passagenabschnitt 29a mit im Wesentlichen konstanten Passagenquerschnitt 29a zwischen einem Eintrittsbereich 38 und einem Austrittsbereich 36 dieses konstanten Passagenabschnitts 29a bereitzustellen.

[0042] Die entsprechende Wölbung der konvexen Druckseitenkontur 33 führt dazu, dass die Profildicke d der Leitschaufel 23 vor dem hinteren Bereich 320 ansteigt oder im Wesentlichen konstant bleibt und erst im hinteren Bereich 320 der Leitschaufel stark abnimmt (vgl. Profildicken d1, d2 und d3 der Figur 4).

[0043] Ein Unterschied der Ausgestaltung der Figur 4 gegenüber der Ausgestaltung der Figur 3 besteht in der Wölbung der Druckseite 30 der Leitschaufel im hinteren Bereich 320. Während diese Wölbung bei der Figur 3 zumindest näherungsweise konkav ausgebildet ist, ist sie im Ausführungsbeispiel der Figur 4 konvex ausgebildet, so dass der hintere Bereich 320 einen Teilbereich der konvexen Druckseitenkontur 33 bildet und zu letzterer beiträgt. Das Maximum M der konvexen Druckseitenkontur 33 befindet sich jedoch vor dem konstanten Passagenabschnitt 29a im vorderen Bereich 310. Dabei stellt die konvexe Druckseitenkontur 33 den Übergang vom hinteren Bereich 320 der Leitschaufel zum vorderen Bereich 310 der Leitschaufel her.

[0044] In der Figur 4 sind des Weiteren eine Zusatzlinie 40 und eine Zusatzfläche 50 dargestellt, die tatsächlich in der Leitschaufel 23 nicht vorhanden sind und lediglich dazu dienen, die erfindungsgemäße Lösung weitergehend zu verdeutlichen. So gibt die Linie 40 den Verlauf der Druckseite einer gemäß dem Stand der Technik ausgebildeten Leitschaufel an, wobei die Wandung der Leitschaufel 23 angrenzend an die Schaufelhinterkante 32 im Wesentlichen gradlinig oder mit geringer gleichmäßiger Krümmung ausgebildet ist. Die Linie 40 verdeutlicht somit die Druckseitenkontur einer herkömmlichen Leitschaufel. Die Fläche 50 verdeutlicht eine demgegenüber erfolgte Aufdickung durch Realisierung einer konvexen Druckseitenkontur 33. Durch diese Aufdickung bzw. Bereitstellung einer konvexen Druckseitenkontur 33 ist es möglich, auch bei einem verlustoptimierten Turbinenleitrad, das Leitschaufeln 23 mit erheblicher konvexer Krümmung der Saugseite 31 im Bereich des Engquerschnitts und/oder benachbart des Engquerschnitts aufweist, einen konstanten Passagenabschnitt 29a innerhalb der Passage 29 bereitzustellen, so dass bei einem Rückbrand 35 eine Passagenaufweitung verhindert wird.

[0045] Eine Aufdickung 50 liegt auch bei dem Ausführungsbeispiel der Figur 3 vor. Diese weist beim Ausführungsbeispiel der Figur 3 jedoch eine andere Form auf

und verläuft nicht insgesamt konvex, weist aber ebenfalls einen konvexen Abschnitt im Übergang vom hinteren Bereich 320 zum vorderen Bereich 310 auf. Bei der Ausgestaltung der Figur 4 wird die Aufdickung 50 vollständig durch die konvexe Druckseitenkontur 33 gebildet.

[0046] Eine weitere Besonderheit der Ausgestaltung der Figur 4 besteht darin, dass angrenzend an den konvexen Bereich 33 auf der Druckseite 30 der Leitschaufel 23 ein konkaver Bereich 34 vorgesehen ist. Dies führt zu einer weiteren Optimierung der Oberflächendruckverteilung auf der Schaufeloberfläche.

[0047] Die Figur 5 zeigt einen Vergleich der Ausgestaltung gemäß dem Stand der Technik, so wie dieser in der Figur 2 dargestellt ist (linke Hälfte von Figur 5) und einem Ausführungsbeispiel der Erfindung gemäß der Figur 4. Durch die erfindungsgemäß vorgesehene Konturierung der Druckseite 30 ergeben sich die oben beschriebenen Vorteile. Dies ist insbesondere auch aus der verglichenen Darstellung der statischen Oberflächendrücke gemäß Figur 6 ersichtlich. Hierbei entspricht die normierte Sehnenlänge von 0.0 der Position der Schaufelvorderkante, die normierte Sehnenlänge von 1.0 entspricht der Position der Schaufelhinterkante.

[0048] Die obere Bildhälfte von Fig. 6 zeigt die zur geometrischen Ausgestaltung gemäß dem Stand der Technik (Fig. 5 links) gehörige Oberflächendruckverteilung. Die untere Bildhälfte von Fig. 6 zeigt die zur erfindungsgemäßen Ausgestaltung (Fig. 5 rechts) gehörige Oberflächenverteilung. Erkennbar ist der sich erfindungsgemäß ergebende vorteilhafte Druckverlauf auf der Saugseite (Fig. 6 unten), der ohne Verletzung des Rückbrandkriteriums umsetzbar ist. Der S-Schlag des Druckverlaufes auf der Druckseite im Bereich der Schaufelhinterkante bei der Sehnenlänge 0.7 bis 1.0 (Fig. 6 unten) resultiert aus der erfindungsgemäßen Konturierung der Druckseite zur Einhaltung des Rückbrandkriteriums.

Bezugszeichenliste:

[0049]

- | | |
|----|--------------------------------------|
| 1 | Triebwerksachse |
| 10 | Gasturbinentriebwerk / Kerntriebwerk |
| 11 | Lufteinlass |
| 12 | Fan |
| 13 | Mitteldruckkompressor |
| 14 | Hochdruckkompressor |
| 15 | Brennkammer |
| 16 | Hochdruckturbine |
| 17 | Mitteldruckturbine |
| 18 | Niederdruckturbine |
| 19 | Abgasdüse |
| 20 | Leitschaufeln |
| 21 | Kerntriebwerksgehäuse |
| 22 | Kompressorlaufschaufeln |
| 23 | Turbinenleitschaufeln |
| 24 | Turbinenlaufschaufeln |
| 26 | Kompressortrommel oder -scheibe |

27	Turbinenrotornabe	
28	Auslasskonus	
29	Passage	
29a	konstanter Passagenabschnitt	
30	Druckseite	5
310	vorderer druckseitiger Bereich der Druckseite	
320	hinterer druckseitiger Bereich der Druckseite	
31	Saugseite	
32	Schaufelhinterkante	
33	konvexe Druckseitenkontur / Konvexer Bereich	10
34	Konkaver Bereich	
35	Rückbrand	
36	Engquerschnitt / Austrittsbereich Passage	
37	Passagenquerschnitt	
38	Eintrittsbereich Passage	15
40	Wandverlauf herkömmliche Leitschaufel	
50	Aufdickung	

d	Profildicke	
M	Maximum der konvexen Druckseitenkontur	20

Patentansprüche

1. Turbinenleitrad einer Gasturbine mit mehreren um den Umfang beabstandet angeordneten Leitschaufeln (23), wobei
 - jede Leitschaufel (23) eine Saugseite (31) und eine Druckseite (30) aufweist,
 - zwei benachbarte Leitschaufeln (23) jeweils zwischen der Saugseite (31) der einen Leitschaufel (23) und der Druckseite (30) der anderen Leitschaufel ausgehend von der Schaufelhinterkante (32) eine Passage (29) ausbilden, und
 - jede Leitschaufel (23) auf der Druckseite (30) eine konvexe Druckseitenkontur (33) aufweist,

dadurch gekennzeichnet, dass

 - die Passage einen konstanten Passagenabschnitt (29a) umfasst, in dem die Passage (29) einen im Wesentlichen konstanten Passagenquerschnitt (37) aufweist,
 - der konstante Passagenabschnitt (29a) einen Eintrittsbereich (38) und an der Schaufelhinterkante (32) einen Austrittsbereich in Form eines Engquerschnitts (36) der Passage aufweist,
 - ein im Wesentlichen konstanter Passagenquerschnitt (37) vorliegt, wenn der Passagenquerschnitt (37) nicht mehr als 5% vom Engquerschnitt (36) im Bereich der Schaufelhinterkante (32) abweicht.
 - jede Leitschaufel (23) druckseitig einen hinteren Bereich (320) ausbildet, der sich ausgehend von der Schaufelhinterkante (32) angrenzend an den konstanten Passagenabschnitt (29a) bis

zum Eintrittsbereich (38) des konstanten Passagenabschnitts (29a) erstreckt, und druckseitig einen vorderen Bereich (310) ausbildet, der stromaufwärts des hinteren Bereichs (320) ausgebildet ist, und

- die konvexe Druckseitenkontur (33) einen Übergang vom hinteren Bereich (320) der Leitschaufel (23) zum vorderen Bereich (310) der Leitschaufel (23) herstellt.

2. Turbinenleitrad nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Profildicke (d) der Leitschaufeln (23) in Richtung der Schaufelhinterkante (32) vor dem hinteren Bereich (320) der Leitschaufel (23) ansteigt, konstant ist oder in geringerem Maße abnimmt als im hinteren Bereich (320) der Leitschaufel (23).
3. Turbinenleitrad nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die konvexe Druckseitenkontur (33) am oder stromaufwärts des Eintrittsbereichs (38) in den konstanten Passagenquerschnitt (29a) ein Maximum (M) ausbildet.
4. Turbinenleitrad nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die konvexe Druckseitenkontur (33) auf der Druckseite (30) der Leitschaufeln (23) überwiegend oder vollständig im vorderen Bereich (310) der Leitschaufel (23) ausgebildet ist.
5. Turbinenleitrad nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die konvexe Druckseitenkontur (33) teilweise auch im hinteren Bereich (320) der Leitschaufel (23) ausgebildet ist.
6. Turbinenleitrad nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leitschaufel (23), ausgehend von der Schaufelhinterkante (32), anschließend an die konvexe Druckseitenkontur (33) mit einem konkaven Bereich (34) versehen ist.
7. Turbinenleitrad nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leitschaufeln (23) zumindest über einen Teilbereich der Schaufelhöhe die konvexe Druckseitenkontur (33) aufweisen.
8. Turbinenleitrad nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Turbinenleitrad verlustoptimiert ausgebildet ist und die Leitschaufeln (23) auf der Saugseite (31) im Bereich des Engquerschnitts und/oder angrenzend an den Engquerschnitt eine starke konvexe Krümmung aufweisen.

9. Turbinenleitrad nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der konstante Passagenabschnitt (29a) sich über eine Sehnenlänge erstreckt, die im Bereich zwischen 5% und 40% der Gesamtsehnenlänge liegt.
10. Turbinenleitrad nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** dieses ein Hochdruckturbinenleitrad ist.
11. Verwendung des Turbinenleitrads nach einem der vorangehenden Ansprüche in einem Gasturbinentriebwerk (10).

Claims

1. Turbine guide wheel of a gas turbine, having multiple guide vanes (23) arranged spaced apart around the circumference, wherein

- each guide vane (23) has a suction side (31) and a pressure side (30),
- two adjacent guide vanes (23) form, in each case between the suction side (31) of one guide vane (23) and the pressure side (30) of the other guide vane and proceeding from the vane trailing edge (32), a passage (29), and
- each guide vane (23) has a convex pressure-side contour (33) on the pressure side (30),

characterized in that

- the passage comprises a constant passage section (29a) in which the passage (29) has a substantially constant passage cross section (37),
- the constant passage section (29a) has an entry region (38) and, on the vane trailing edge (32), an exit region in the form of a narrow cross section (36) of the passage,
- a substantially constant passage cross section (37) is present if the passage cross section (37) differs by no more than 5% from the narrow cross section (36) in the region of the vane trailing edge (32),
- each guide vane (23) forms on the pressure side a rear region (320), which, proceeding from the vane trailing edge (32), extends as far as the entry region (38) of the constant passage section (29a) in a manner adjacent to the constant passage section (29a), and forms on the pressure side a front region (310), which is formed upstream of the rear region (320), and
- the convex pressure-side contour (33) establishes a transition from the rear region (320) of the guide vane (23) to the front region (310) of the guide vane (23).

2. Turbine guide wheel according to Claim 1, **characterized in that**, in the direction of the vane trailing edge (32) prior the rear region (320) of the guide vane (23), the profile thickness (d) of the guide vanes (23) increases, is constant, or decreases to a lesser extent than in the rear region (320) of the guide vane (23).
3. Turbine guide wheel according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the convex pressure-side contour (33), at or upstream of the entry region (38), forms a maximum (M) in the constant passage cross section (29a).
4. Turbine guide wheel according to one of the preceding claims, **characterized in that** the convex pressure-side contour (33) on the pressure side (30) of the guide vanes (23) is formed predominantly or completely in the front region (310) of the guide vane (23).
5. Turbine guide wheel according to one of the preceding claims, **characterized in that** the convex pressure-side contour (33) is also formed partly in the rear region (320) of the guide vane (23).
6. Turbine guide wheel according to one of the preceding claims, **characterized in that**, proceeding from the vane trailing edge (32), the guide vane (23) is provided with a concave region (34) adjacent to the convex pressure-side contour (33).
7. Turbine guide wheel according to one of the preceding claims, **characterized in that** the guide vanes (23) have the convex pressure-side contour (33) at least over a sub-region of the vane height.
8. Turbine guide wheel according to one of the preceding claims, **characterized in that** the turbine guide wheel is formed in a manner optimized with respect to loss, and the guide vanes (23) have on the suction side (31) a highly convex curvature in the region of the narrow cross section and/or adjacent to the narrow cross section.
9. Turbine guide wheel according to one of the preceding claims, **characterized in that** the constant passage section (29a) extends over a chord length which lies in the range between 5% and 40% of the total chord length.
10. Turbine guide wheel according to one of the preceding claims, **characterized in that** this is a high-pressure turbine guide wheel.
11. Use of the turbine guide wheel according to one of the preceding claims in a gas turbine engine (10).

Revendications

1. Roue de guidage de turbine à gaz comprenant plusieurs aubes de guidage (23) disposées de manière espacée autour de la circonférence, dans laquelle

- chaque aube directrice (23) comprend un côté aspiration (31) et un côté pression (30),
- deux aubes de guidage adjacentes (23) forment un passage (29) respectivement entre le côté aspiration (31) de l'une des aubes de guidage (23) et le côté pression (30) de l'autre aube directrice à partir du bord de fuite d'aube (32), et
- chaque aube directrice (23) présente sur le côté pression (30) un contour de côté pression convexe (33),

caractérisée en ce que

- le passage comporte une partie de passage constante (29a) dans laquelle le passage (29) présente une section transversale de passage (37) sensiblement constante,
- la partie de passage constante (29a) comprend une zone d'entrée (38) et, au niveau du bord de fuite d'aube (32), une zone de sortie sous la forme d'une section transversale étroite (36) du passage,
- une section transversale de passage (37) sensiblement constante est présente lorsque la section transversale de passage (37) ne diffère pas de plus de 5% de la section transversale étroite (36) dans la zone du bord de fuite d'aube (32),
- chaque aube directrice (23) forme, côté pression, une zone arrière (320) qui s'étend à partir du bord de fuite d'aube (32) de manière adjacente à la partie de passage constante (29a) jusqu'à la zone d'entrée (38) de la partie de passage constante (29a) et forme, côté pression, une zone avant (310) qui est formée en amont de la zone arrière (320) et
- le contour de côté pression convexe (33) produit une transition de la zone arrière (320) de l'aube directrice (23) à la zone avant (310) de l'aube directrice (23).

2. Roue de guidage de turbine selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** l'épaisseur de profil (d) des aubes de guidage (23) dans la direction du bord de fuite d'aube (32) avant la zone arrière (320) de l'aube directrice (23) augmente, est constante ou diminue dans une mesure plus faible que dans la zone arrière (320) de l'aube directrice (23).

3. Roue de guidage de turbine selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce que** le contour de côté pression convexe (33) forme un maximum (M) au niveau de la zone d'entrée (38) ou en amont de celle-

ci dans la section transversale de passage constante (29a).

4. Roue de guidage de turbine selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le contour de côté pression convexe (33) sur le côté pression (30) des aubes de guidage (23) est formé principalement ou complètement dans la zone avant (310) de l'aube directrice (23).

5. Roue de guidage de turbine selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** le contour de côté pression convexe (33) est formé partiellement également dans la zone arrière (320) de l'aube directrice (23).

6. Roue de guidage de turbine selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'aube directrice (23) est dotée d'une zone concave (34) à partir du bord de fuite d'aube (32), de manière adjacente au contour de côté pression convexe (33).

7. Roue de guidage de turbine selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les aubes de guidage (23) présentent le contour de côté pression convexe (33) au moins sur une région partielle de la hauteur d'aube.

8. Roue de guidage de turbine selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la roue de guidage de turbine est formée de manière optimisée en termes de pertes et les aubes de guidage (23) présentent une courbure convexe plus importante sur le côté aspiration (31) dans la région de la section transversale étroite et/ou de manière adjacente à la section transversale étroite.

9. Roue de guidage de turbine selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la partie de passage constante (29a) s'étend sur une longueur de corde qui est comprise dans la plage entre 5% et 40% de la longueur de corde totale.

10. Roue de guidage de turbine selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** celle-ci est une roue de guidage de turbine haute pression.

11. Utilisation de la roue de guidage de turbine selon l'une des revendications précédentes dans un moteur à turbine à gaz (10).

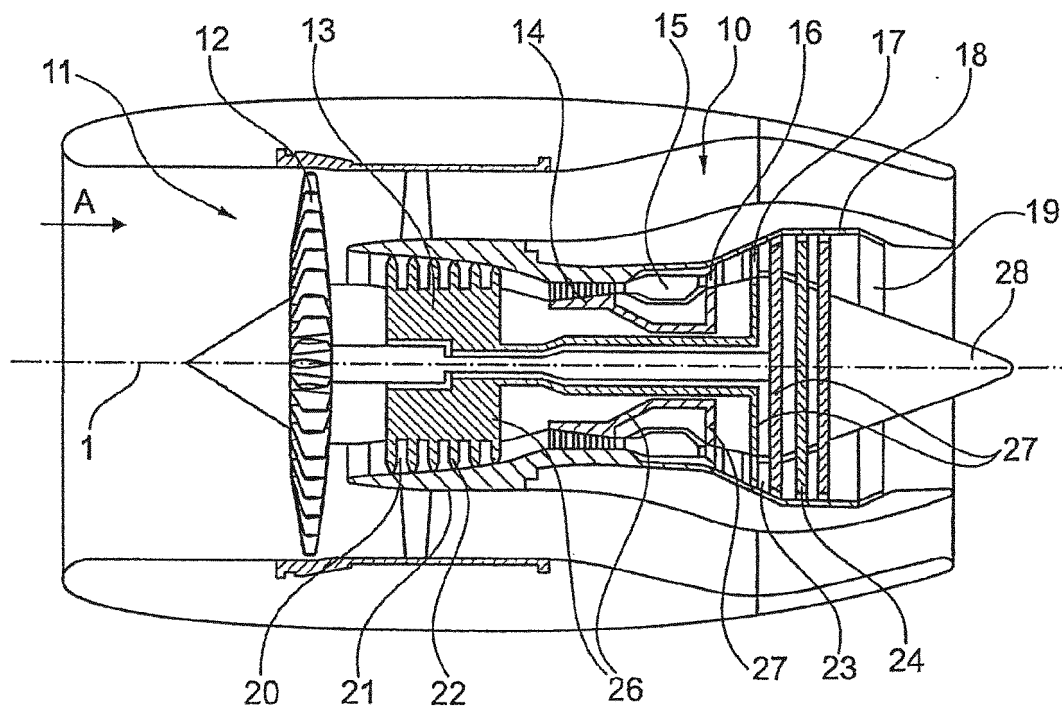


Fig. 1

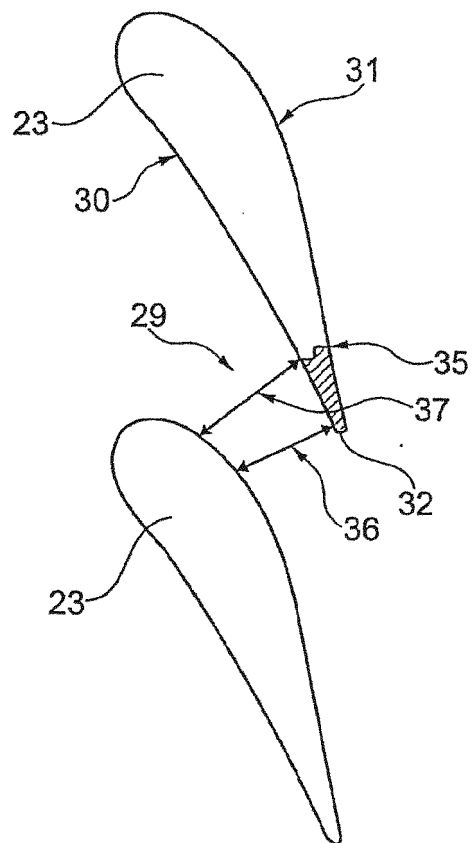


Fig. 2
Stand der Technik

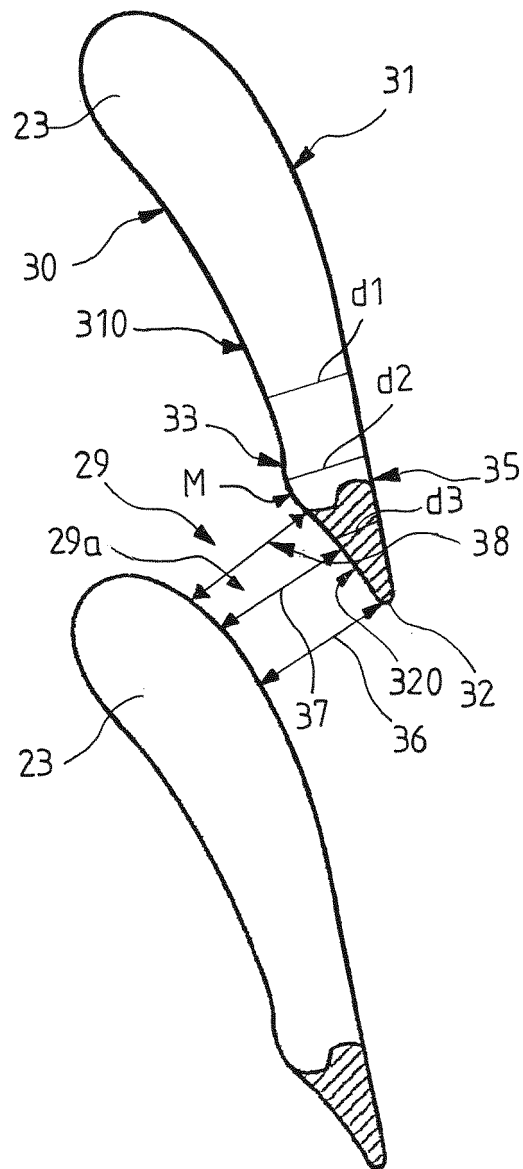
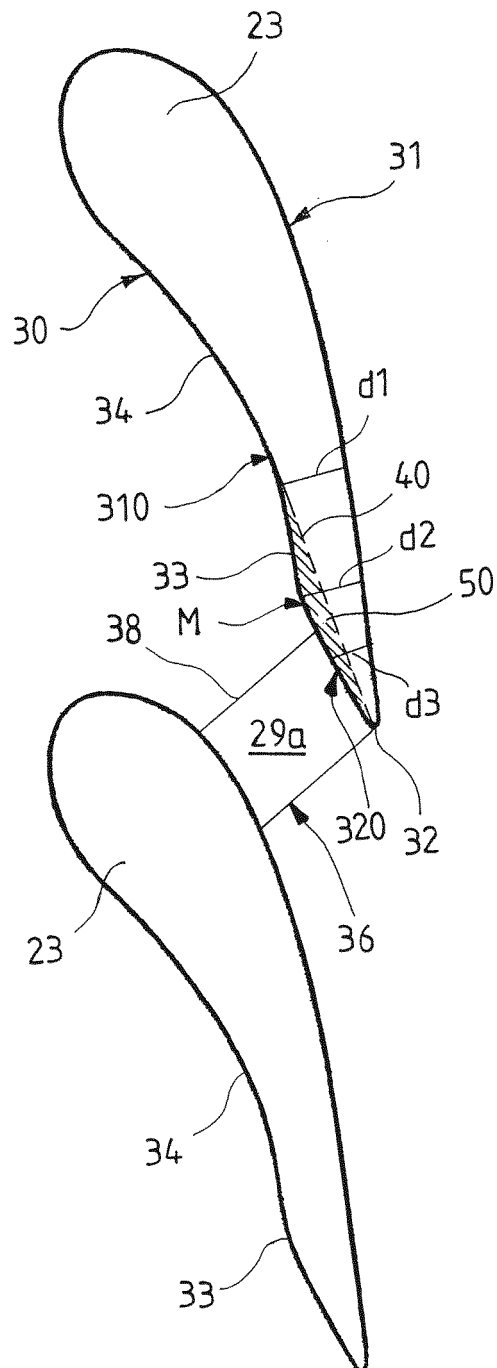


Fig. 3

Fig. 4



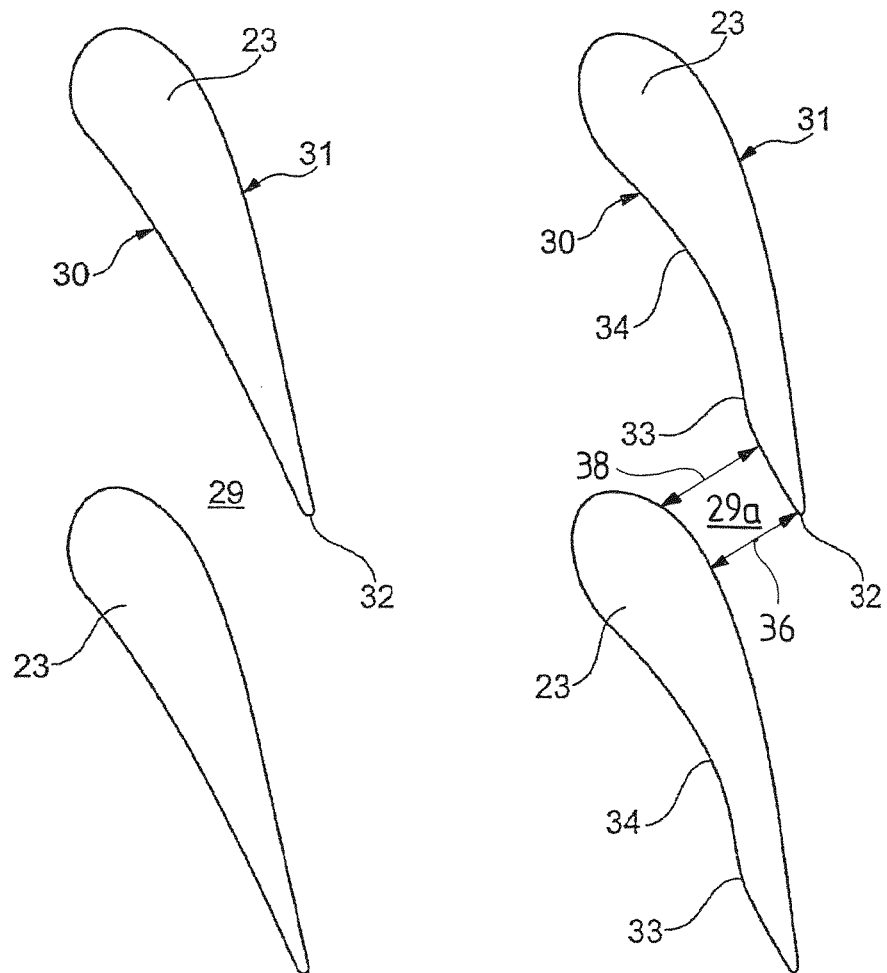


Fig. 5

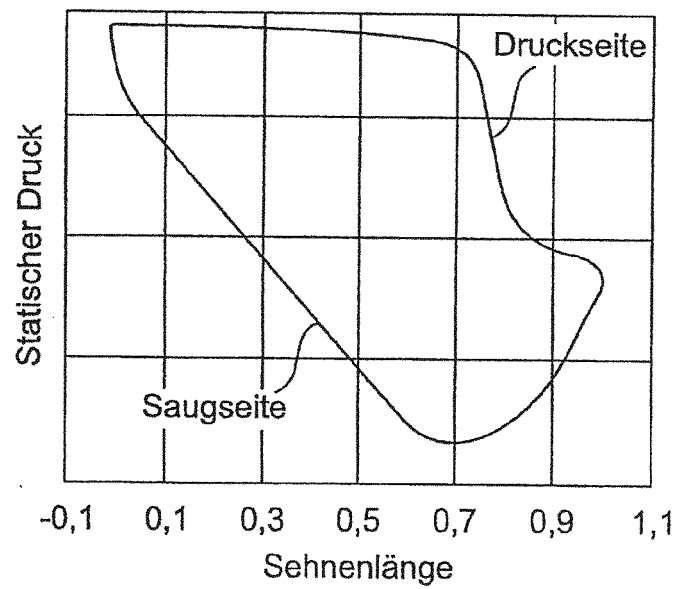
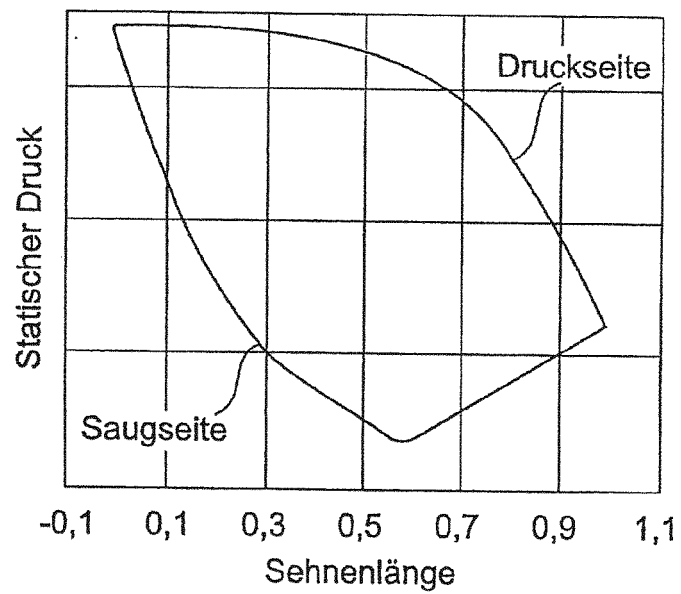


Fig. 6

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

- DE 102005025213 A1 **[0004]**
- DE 102004009696 B3 **[0005]**
- DE 10054244 A1 **[0005]**