



(11) **EP 2 725 194 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**30.04.2014 Patentblatt 2014/18**

(51) Int Cl.:  
**F01D 5/20<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **13190022.7**

(22) Anmeldetag: **24.10.2013**

(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**

• **Rolls-Royce plc**  
**London SW1E 6AT (GB)**

(72) Erfinder:

• **Lehmann, Knut, Dr.**  
**12277 Berlin (DE)**  
• **Herm, Manuel**  
**10627 Berlin (DE)**

(30) Priorität: **26.10.2012 GB 201219267**  
**31.10.2012 DE 102012021400**

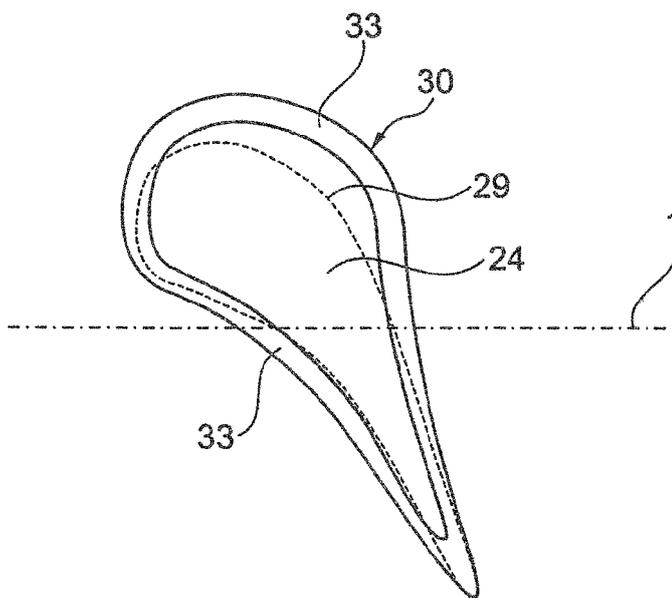
(74) Vertreter: **Hoefer & Partner**  
**Pilgersheimer Straße 20**  
**81543 München (DE)**

(71) Anmelder:  
• **Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG**  
**15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)**

(54) **Turbinenlaufschaufel und zugehörige Rotorstufe**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf eine Turbinenrotorschaukel einer Gasturbine mit einer Schaufelspitze, wobei die Schaufelspitze zumindest an ihrer Saugseite SS, ausgehend von einem Staupunkt LE an der Schaufelvorderkante bis zu einem Schnittpunkt TE<sub>SS</sub> der saugseitigen Profilinie der Schaukel 24 mit einem Hinterkan-

tenkreis 32 einen Überhang 30 aufweist, welcher am Staupunkt LE und am Schnittpunkt TE<sub>SS</sub> im Wesentlichen Null beträgt und welcher einen Maximalwert bei in etwa 40 % der Lauflänge s des saugseitigen Überhangs 30 aufweist.



**Fig. 2**

**EP 2 725 194 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf eine Turbinenrotorschaukel einer Gasturbine mit einem in radialer Richtung (bezogen auf eine Triebwerksachse der Gasturbine) bzw. in Längsrichtung der Schaukel ausgebildeten Schaukelprofil sowie mit einer Schaukelspitze. Als Schaukelspitze wird im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung das radial außenliegende Ende der Turbinenrotorschaukel bezeichnet.

**[0002]** Die Erfindung betrifft weiterhin nicht nur Rotor-schaukeln, sondern auch Statorschaukeln, wobei die Schaukelspitze bei Statorschaukeln als radial innenliegendes Ende der Schaukel definiert ist.

**[0003]** Im Stand der Technik ist es bekannt, dass am Radialspalt zwischen den Rotorschaukeln und einem Gehäuse bzw. zwischen Statorschaukeln und einer Nabe ein durch den Druckunterschied von der Schaukel-druckseite zur Schaukel-saugseite getriebener Leckagemassenstrom entsteht. Dabei sind Lösungen vorgeschlagen worden, die diesen Leckagemassenstrom verringern und/oder den negativen Einfluss eines sich bildenden Schaukelspitzenwirbels auf die Turbinenaerodynamik verringern.

**[0004]** Zur Verbesserung der Strömung über die Schaukelspitzen der Rotoren werden hauptsächlich umlaufende Dichtkanten (Squealer), teils aber auch Überhänge an der Schaukelspitze (Wingletausführungen) vorgesehen. Squealerkonstruktionen (US 2010/0098554 A1) bewirken aber nur eine geringe Verbesserung der Aerodynamik. Die Winglet-Konstruktion gemäß US 7,118.329 B2 besitzt einen Überhang zur Druckseite nahe der Schaukelhinterkante und eine umlaufende Dichtkante an der Schaukelspitze mit einer Öffnung an der Schaukelhinterkante. Die Konstruktion gemäß US 6,142,739 besitzt einen saug- und druckseitigen Überhang, welcher sehr klein nahe der Schaukelvorderkante ist und entlang der Schaukelskelettlinie bis zur Schaukelhinterkante immer weiter überhängt. Des Weiteren besitzt diese Konstruktion eine Öffnung der Schaukelspitzenkavität an der Hinterkante.

**[0005]** Die aus dem Stand der Technik bekannten Lösungen bringen zum einen nur geringe aerodynamische Vorteile, zum anderen sind die Überhänge (Winglets) so dimensioniert, dass sie insbesondere von der dünnen Schaukelhinterkante schlecht getragen werden können und die mechanische Festigkeit der Schaukel beeinträchtigen.

**[0006]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Turbinenrotorschaukel der eingangs genannten Art zu schaffen, welche bei einfachem Aufbau und einfacher, kostengünstiger Herstellbarkeit eine Optimierung des Leckagemassenstroms ermöglicht und eine gute Bauteilfestigkeit aufweist.

**[0007]** Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmalskombination des Anspruchs 1 gelöst, die Unteransprüche zeigen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

**[0008]** Erfindungsgemäß ist somit vorgesehen, dass die Schaukelspitze zumindest an ihrer Saugseite, ausgehend von einem Staupunkt an der Schaukelvorderkante bis zu einem Schnittpunkt der saugseitigen Profillinie der Schaukel mit einem Hinterkantenkreis einen Überhang (Winglet) aufweist. Der Überhang weist am Staupunkt und am Schnittpunkt mit dem Hinterkantenkreis im Wesentlichen einen Wert von Null auf und erreicht seinen Maximalwert bei etwa 40 % der Lauflänge der saugseitigen Profillinie.

**[0009]** Erfindungsgemäß ist somit eine strömungsoptimierte und hinsichtlich der Festigkeit der Schaukel vorteilhafte Konstruktion geschaffen, bei welcher die aerodynamischen Verluste minimiert werden.

**[0010]** Besonders günstig ist es, wenn die Größe des saugseitigen Überhangs (senkrechter Abstand von der saugseitigen Profillinie) in etwa 45% des Durchmessers des maximal in das Schaukelprofil einbeschreibbaren Kreises  $T_{max}$  erreicht.

**[0011]** In besonders günstiger Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Schaukel ist weiterhin vorgesehen, dass die Schaukelspitze an ihrer Druckseite, ausgehend von einem Staupunkt an der Schaukelvorderkante bis zu einem Schnittpunkt der druckseitigen Profillinie der Schaukel mit dem Hinterkantenkreis, ebenfalls einen Überhang (Winglet) aufweist, welcher am Staupunkt und am Schnittpunkt im Wesentlichen Null beträgt und welcher einen Maximalwert bei etwa einer Lauflänge zwischen 20 % und 60 % der Gesamtlauflänge der druckseitigen Profillinie aufweist.

**[0012]** Zur Verbesserung der Strömung und zur weiteren Verminderung des Leckagemassenstroms kann es weiterhin günstig sein, dass am radial äußeren Randbereich der Schaukel (bei einer Rotorschaukel) bzw. am radial inneren Randbereich bei einer Statorschaukel eine umlaufende Dichtkante ausgebildet ist. Diese kann beispielsweise einen im Wesentlichen rechteckigen Querschnitt haben, so dass sich im mittleren Bereich der Schaukelspitze eine Vertiefung/Kavität ausbildet.

**[0013]** Die Dichtkante kann weiterhin bevorzugterweise einen Bereich mit einer reduzierten Höhe bzw. einen Bereich mit einer Höhe von Null aufweisen, welcher im Bereich des saugseitigen Überhangs zwischen einer Lauflänge der saugseitigen Profillinie von 10 % bis 30 % vorgesehen ist. Somit wird eine Öffnung ausgebildet, durch welche eine Zuströmung der gehäusenahen Grenzschicht auf die Schaukelspitze erfolgen kann.

**[0014]** Besonders vorteilhaft ist es, die Höhe sowie die Breite der Dichtkante in Abhängigkeit von einem Schaukelspitzenpalt zu bemessen. Die radiale Höhe kann dabei zwischen der Hälfte des Schaukelspitzenpalts und dem dreifachen Schaukelspitzenpalt betragen. Hinsichtlich der Breite der Dichtkante kann diese zwischen dem dreifachen Schaukelspitzenpalt und dem sechsfachen Schaukelspitzenpalt ausgebildet sein.

**[0015]** Hinsichtlich der Höhe des Überhangs (Winglets) in radialer Richtung kann es besonders günstig sein, wenn diese Höhe maximal 10 % der radialen Länge des

Schaufelprofils beträgt. Ein bevorzugter Wert liegt bei 5 %. Dies bedeutet, dass ca. 90 % bis 95 % des Schaufelprofils unverändert ausgebildet ist und dass lediglich die äußeren 10 bzw. 5 % der Länge des Schaufelprofils mit dem erfindungsgemäßen Überhang bzw. Winglet versehen ist.

**[0016]** Um die Strömungsverhältnisse weiter zu optimieren, kann es günstig sein, den Übergang vom Schaufelprofil zu dem Überhang (Winglet) abgerundet auszubilden.

**[0017]** Weiterhin kann es vorteilhaft sein, den Kantenbereich des Überhangs (Winglets) am radialen Ende mit einem Winkel zu versehen. Dieser Winkel ist in einer Ebene definiert die durch einen radialen Vektor von der Dichtkante zur Triebwerksachse und einem Vektor normal zur Dichtkante aufgespannt wird. Der Winkel bildet sich dann zwischen einer Tangente an der äußeren Dichtkantenfläche und dem Radialenvektor. Dabei ist es besonders günstig, wenn die Tangente an der druckseitigen Dichtkante der Schaufel in einem Winkel zwischen  $10^\circ$  und  $50^\circ$  von der Schaufel weg gerichtet und an der saugseitigen Dichtkante in einem Winkel von  $10^\circ$  bis  $50^\circ$  bei einer Lauflänge  $0,1 \leq s \leq 0,3$  zur Schaufel hin gerichtet und bei einer Lauflänge zwischen  $0,4 \leq s \leq 1$  in einem Winkel zwischen  $10^\circ$  und  $50^\circ$  von der Schaufel weg gerichtet ausgebildet ist.

**[0018]** Die erfindungsgemäße Wingletkonstruktion hat die Eigenschaft, die Überströmung der Turbinenschaufelspitzen so zu verbessern, dass der Leckagemassenstrom über die Schaufelspitze verringert wird (Wirkungsgradverbesserung im Rotor) und gleichzeitig die Abströmung im Bereich der Rotorschaufelspitze hinsichtlich des Abströmwinkels vergleichmäßigt wird (Wirkungsgradverbesserung in den stromab liegenden Schaufelreihen). Diese Vorteile werden durch folgende strömungsmechanische Effekte erreicht:

- Durch die relative schnelle Verkleinerung des großen saugseitigen Überhangs im Bereich (b) entsteht eine konkave Schaufelspitzenform. Das führt dazu, dass der Schaufelspitzenwirbel stromab einen immer größeren Abstand zur Schaufel gewinnt.
- Als Folge wird der Schaufelspitzenwirbel von der saugseitigen Schaufelumströmung entkoppelt und interagiert nicht oder nur sehr wenig mit dem sich in diesem Bereich entwickelnden Sekundärströmungswirbel. Diese Entkopplung trägt maßgeblich zur Wirkungsgradverbesserung der Schaufelspitzenströmung durch das Winglet bei.
- Der Überhang des Winglets reduziert den treibenden Druckgradienten zwischen Druckseite und Saugseite und verringert damit den Leckagemassenstrom.
- Die Öffnung der umlaufenden Dichtkante des Winglets sorgt für eine Einströmung von relativ kalter

gehäusenaher Luft in die Kavität des Winglets. Die Trajektorie dieser Zuströmung (Stromlinienkrümmung) bewirkt einen Druckgradienten in Richtung Druckseite der Schaufel. Hierdurch wird eine weitere Reduktion des Leckagemassenstromes erzielt. Weiterhin verringert die aufströmende relativ kalte Luft die Kühlungsanforderungen für das Winglet.

- Die Form (Tangentenwinkel) der umlaufenden bzw. unterbrochenen Dichtkante ist in Abhängigkeit der Profillaufänge so gestaltet, dass an gewünschten Positionen Strömungsablösungen hervorgerufen werden (z.B. Druckseite) und an anderen Positionen (z.B. Saugseite) Strömungsablösungen vermieden werden.

**[0019]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der Zeichnung beschrieben. Dabei zeigt:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Gasturbinentriebwerks gemäß der vorliegenden Erfindung,
- Fig. 2 eine vereinfachte Draufsicht auf den Endbereich der erfindungsgemäßen Schaufel,
- Fig. 3 eine Ansicht, analog Fig. 2, mit Angabe der Schnittlinien der Fig. 4 bis 6,
- Fig. 4 bis 6 Teil-Schnitte gemäß den Schnittlinien in Fig. 3,
- Fig. 7 eine Darstellung, ähnlich Fig. 5, mit Angabe der Definitionen zur Bemessung des Schaufelendbereichs,
- Fig. 8, 9 stirnseitige Ansichten, analog den Fig. 2 und 3, zur Darstellung des erfindungsgemäßen Überhangs,
- Fig. 10, 11 Dickenverteilungen des saugseitigen und druckseitigen Überhangs bezogen auf die Lauflänge der saugseitigen bzw. druckseitigen Profillinie,
- Fig. 12 eine perspektivische stirnseitige Ansicht, analog den Fig. 2 und 3, mit Darstellung der Dichtkante,
- Fig. 13 eine Draufsicht auf die Darstellung gemäß Fig. 12 mit Strömungslinien,
- Fig. 14 eine Schnittansicht, analog den Fig. 4 bis 6, mit Darstellung des Strömungsverlaufs, und

Fig. 15 eine Draufsicht zur Verdeutlichung des in Fig. 14 gezeigten Strömungsverlaufs.

**[0020]** Das Gasturbinentriebwerk 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 Luft-einlass 11, einen in einem Gehäuse umlaufenden Fan 12, einen Mitteldruckkompressor 13, einen Hochdruckkompressor 14, eine Brennkammer 15, eine Hochdruck-turbine 16, eine Mitteldruckturbine 17 und eine Niederdruckturbine 18 sowie eine Abgasdüse 19, die sämtlich um eine zentrale Triebwerksachse 1 angeordnet sind.

**[0021]** Der Zwischendruckkompressor 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 Triebwerksgehäuse 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 Hochdruckturbine 16 bzw. der Mitteldruckturbine 17 gekoppelt sind.

**[0022]** 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 Turbinenrotorschaukeln 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 Turbinenrotorschaukeln 24 drehen sich im Betrieb um die Triebwerksachse 1.

**[0023]** Die Fig. 2 zeigt eine stirnseitige Ansicht eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Turbinenrotorschaukel 24. Es versteht sich, dass die stirnseitige Fläche nicht eben ist, sondern Teil eines Zylindermantels um die Triebwerksachse 1. Zur Vereinfachung der Darstellung ist in den nachfolgenden Figuren die Endfläche jeweils eben ausgebildet.

**[0024]** Die Fig. 2 zeigt somit eine erfindungsgemäße Formgebung der Rotorschaukelspitze in der Draufsicht. Hierbei ist ein Merkmal der Erfindung die spezielle Formgebung des saugseitigen Überhangs 30. Die erfindungsgemäße Formgebung des saugseitigen Überhangs 30 ist mittels der Fig. 8 und 10 näher beschrieben. Zwei Referenzpunkte, nämlich der Staupunkt an der Schaufelvorderkante (unter 2D Anströmung) LE und der Schnittpunkt der saugseitigen Profillinie mit dem Hinterkantenkreis TE, werden zur Beschreibung des saugseitigen Wingletüberhangs benutzt. Zwischen diesen beiden Referenzpunkten ist die dimensionslose Lauflänge  $s$  entlang der saugseitigen Profillinie definiert, sodass

$s(LE)=0$  und  $s(TE)=1$  gilt. Entlang von  $s$  ist der Wingletüberhang  $T_w(s)$  als Dickenverteilung, d.h. als senkrechter Abstand zur saugseitigen Schaufelprofillinie definiert. Dabei ist die Dickenverteilung mit der maximalen Profildicke  $T_{w,max}$  der Schaufelspitze (Durchmesser des größten in das Schaufelprofil einbeschreibbaren Kreises 31) dimensionslos gemacht.

**[0025]** Um die aerodynamischen Effekte des saugseitigen Überhangs 30 zu nutzen, ist die Dickenverteilung in Fig. 10 besonders vorteilhaft. An den beiden Referenzpunkten LE und TE ist die Dickenverteilung nahe 0 (kein signifikanter Überhang 30 vorhanden). Ausgehend vom Punkt LE steigt der Überhang 30 entlang von  $s$  anfangs nur sehr schwach an. Ab ca.  $s=0,1$  erfolgt eine rasche Zunahme der Dickenverteilung, Bereich (a), bis zum Maximum  $T_{w,max}$ , welches bei ca. 40% der Lauflänge  $s=0,4$ , bzw. etwa im Bereich des engsten Querschnitts (throat) der Schaufelpassage zwischen benachbarten Schaufeln erreicht ist. Zwischen ca.  $0,5 \leq s \leq 0,7$ , Bereich (b), nimmt die Dickenverteilung rapide bis auf ca. 20%  $T_{w,max}$  ab und geht schließlich langsam bis  $s=1$  auf 0% zurück, Bereich (c). Des Weiteren sind in Fig. 10 zwei weitere Dickenverteilungen (gestrichelte Linien gezeigt), die somit einen Bereich für die besonders vorteilhafte Gestaltung des saugseitigen Überhangs 30 eingrenzen.

**[0026]** In den Fig. 8 und 9 ist ein Schaufelprofil 29 als gestrichelte Linie eingezeichnet, diese Linie entspricht dem Schaufelprofil unter dem Überhang (Winglet) 30 bei 90 % der Schaufelhöhe. Die Linie 38 zeigt die Kontur des saugseitigen Überhangs (Fig. 8), während die Linie 39 die Kontur des druckseitigen Überhangs (Fig. 9) zeigt. Mit dem Bezugszeichen 31 ist der Kreis eingezeichnet, welcher im Bereich der maximalen Dicke des Querschnitts des Schaufelprofils 29 einbeschreibbar ist. Das Bezugszeichen 32 zeigt den Hinterkantenkreis.

**[0027]** Wie in den Fig. 2 und 3 dargestellt, ist der Rand des Überhangs 30 in Form einer Dichtkante 33 ausgebildet, welche im Wesentlichen umlaufend ausgeführt ist. Sie weist, wie nachfolgend noch beschrieben werden wird, eine Öffnung 34 auf (Fig. 12 und 13). Während in Fig. 8 der saugseitige Überhang im Einzelnen dargestellt und erläutert ist, zeigt die Fig. 9 den druckseitigen Überhang mit seiner Kontur 39.

**[0028]** Die Fig. 4 bis 7 zeigen jeweils Schnittansichten längs den in Fig. 3 gezeigten Schnittlinien.

**[0029]** Die Dickenverläufe der Überhänge an der Saugseite bzw. der Druckseite sind in den Fig. 10 und 11 dargestellt. Dabei ist der Verlauf jeweils über eine dimensionslose Lauflänge  $s$  aufgetragen, die sich vom Staupunkt an der Schaufelvorderkante LE entlang der saug- bzw. druckseitigen Profillinie bis zum Schnittpunkt der Profillinie mit dem Hinterkantenkreis TE erstreckt. Die Größe des Überhangs  $T_w(s)$  ist auf den Durchmesser des maximal in das Schaufelprofil einbeschreibbaren Kreis  $T_{w,max}$  normiert. Es ergibt sich, an welchen Stellen jeweils die Maximalwerte besonders günstig vorgesehen sind. Die gestrichelten Linien in den Fig. 10 und 11 zeigen einen bevorzugten Bemessungsbereich, während die

durchgezogene Linie eine optimierte Lösung darstellt.

**[0030]** Die Rotorschaufelspitze weist, wie in den Fig. gezeigt, folgende bevorzugte konstruktive Eigenschaften auf, um die Auswirkung der Rotorspitzenpaltleckageströmung auf den Turbinenwirkungsgrad so klein wie möglich zu gestalten:

- Einen relativ kleinen, aber signifikanten druckseitigen Überhang  $T_w(s)$ , der, wie in Fig. 9 und 11 gezeigt, zwischen  $0 \leq s \leq 0,2$  sehr klein ist, von  $s=0,2$  bis  $s=0,6$  bis auf sein Maximum von  $15\% T_{max}$  anwächst und schließlich von  $s=0,6$  bis zur Schaufelhinterkante abfällt, sodass der druckseitige Überhang bei  $s=1$  tangential an den Hinterkantenkreis übergeht. Eine günstige Gestaltung des druckseitigen Überhangs kann mittels der gestrichelten Kurven in Fig. 11 eingegrenzt werden.
- Eine Öffnung, zumindest aber eine Verringerung der Höhe  $d$  der umlaufenden Dichtkante im vorderen Bereich des saugseitigen Überhangs zwischen ca.  $s=0,1$  und  $s=0,3$ , wie in Fig. 12 und 13 gezeigt.
- Eine mittels des Rotorschaufelspaltens (nominal im Normalbetrieb)  $t$  definierte Höhe  $d$  der umlaufenden bzw. unterbrochenen Dichtkante auf dem Winglet von ca.  $0,5t \leq d \leq 3t$  (siehe Fig. 7).
- Eine mittels des Rotorschaufelspaltens  $t$  definierte Breite  $b$  der umlaufenden bzw. unterbrochenen Dichtkante auf dem Winglet von ca.  $3t \leq b \leq 6t$  (siehe Fig. 7).
- Eine Höhe  $h$  des Winglets von nicht mehr als 10 % der mittleren Höhe des Rotorschaufelprofils. In besonders günstiger Ausführung sollte  $h \sim 5\%$  der mittleren Höhe des Rotorschaufelprofils betragen (siehe Fig. 7). Dabei ist  $h$  als der radiale Abstand der Wingletspitze von dem radialen Schaufelprofilchnitt anzusehen, bei dem die Aufweitung des Schaufelprofils in das Winglet deutlich beginnt.
- Einen stetigen, mit angemessenen Radien  $R$  (bzw. geeigneten Kurvenformen) abgerundeten, sanften Übergang zwischen dem Wingletüberhang und dem Schaufelprofil (siehe Fig. 7).
- Einen von der Profillaufänge  $s$  abhängigen, beispielhaft mittels der Schaufelschnitte A:A, B:B und C:C in Fig. 7 definierten Winkel  $\beta$  zwischen der Tangente an der äußeren Dichtkante 35 und dem Radialenvektor 36, sodass die Tangente an der Druckseite stets von der Schaufel mit einem Winkel zwischen  $10^\circ \leq \beta_{DS} \leq 50^\circ$  weg zeigt und die Tangente an der Saugseite zwischen  $0,1 \leq s \leq 0,3$  zu der Schaufel mit einem Winkel zwischen  $10^\circ \leq \beta_{SS} \leq 50^\circ$  hin zeigt, jedoch zwischen  $0,4 \leq s \leq 1$  stets mit einem Winkel von  $10^\circ \leq \beta_{SS} \leq 50^\circ$  von der Schaufel weg zeigt.

**[0031]** Zur Verdeutlichung der obenstehenden Ausführungen zeigen somit die Fig. 4 bis 6 jeweils Schnittansichten gemäß Fig. 3, aus welchen sich die bevorzugten Ausgestaltungen ergeben. Insbesondere zeigen die Fig. 4 bis 6 die jeweiligen Winkel  $\beta$  zwischen der Tangente 35 und dem Radialenvektor 36. Die Fig. 7 verdeutlicht nochmals die Dimensionsdefinitionen und stellt zusätzlich schematisch das Gehäuse 40 sowie den Schaufelspaltenspalt 37 dar.

**[0032]** Aus den Fig. 12 bis 15 ergibt sich nochmals eine Darstellung der Strömungsverhältnisse. Die Fig. 13 zeigt dabei insbesondere eine Einströmung durch die Öffnung 34 sowie eine Strömung durch den Schaufelspaltenspalt 37. Entsprechend zeigen die Fig. 14 und 15 zur Verdeutlichung ein Beispiel eines sich ausbildenden Schaufelspaltwirbels 41 sowie eines Sekundärströmungswirbels 42.

#### Bezugszeichenliste:

#### **[0033]**

1	Triebwerksachse
10	Gasturbinentriebwerk / Kerntriebwerk
25	11 Lufteinlass
12	Fan
13	Mitteldruckkompressor (Verdichter)
14	Hochdruckkompressor
15	Brennkammern
30	16 Hochdruckturbine
17	Mitteldruckturbine
18	Niederdruckturbine
19	Abgasdüse
20	Leitschaufeln
35	21 Triebwerksgehäuse
22	Kompressorlaufschaufeln
23	Leitschaufeln
24	Turbinenrotorschaufel
26	Kompressortrommel oder -scheibe
40	27 Turbinenrotornabe
28	Auslasskonus
29	Schaufelprofil (unter dem Winglet bei ca. 90% Schaufelhöhe)
30	Überhang / Winglet
45	31 Kreis (mit maximalem in das Schaufelprofil einbeschreibbaren Durchmesser)
32	Hinterkantenkreis
33	Dichtkante
34	Öffnung der Dichtkante
50	35 Tangente an der Dichtkante
36	Radialenvektor an der Dichtkante
37	Schaufelspaltenspalt
38	Kontur des saugseitigen Überhangs
39	Kontur des druckseitigen Überhangs
55	40 Gehäuseendwand des Turbinenrotors
41	Schaufelspaltenspaltwirbel
42	Sekundärströmungswirbel
DS	Druckseite

SS	Saugseite	
LE	Staupunkt an der Schaufelvorderkante	
TE	Schnittpunkt der saug- bzw. druckseitigen Profillinie mit dem Hinterkantenkreis	
b	Breite der Dichtkante	5
d	Höhe der Dichtkante	
h	Höhe des Überhangs (Winglet)	
R	Verrundungsradien zwischen Überhang (Winglet) und Schaufelprofil	
s	Lauflänge	10
t	Höhe des Schaufelspitzenspaltes	
$T_{max}$	maximale Schaufelprofildicke	
$T_w$	Überhang (Winglet) -Größe	
$T_{w,max}$	maximale Überhang (Winglet) -Größe	15

### Patentansprüche

1. Turbinenrotorschaukel einer Gasturbine mit einer Schaufelspitze, wobei die Schaufelspitze zumindest an ihrer Saugseite (SS), ausgehend von einem Staupunkt (LE) an der Schaufelvorderkante bis zu einem Schnittpunkt ( $TE_{SS}$ ) der saugseitigen Profillinie der Schaufel (24) mit einem Hinterkantenkreis (32) einen Überhang (30) aufweist, welcher am Staupunkt (LE) und am Schnittpunkt ( $TE_{SS}$ ) im Wesentlichen Null beträgt und welcher einen Maximalwert bei in etwa 40 % der Laufänge (s) des saugseitigen Überhangs (30) aufweist. 20
2. Schaufel nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Maximalwert des saugseitigen Überhangs (30) im Wesentlichen im Bereich des engsten Querschnitts der Schaufelpassage ausgebildet ist. 25
3. Schaufel nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schaufelspitze an ihrer Druckseite (DS), ausgehend von einem Staupunkt (LE) an der Schaufelvorderkante bis zu einem Schnittpunkt ( $TE_{DS}$ ) der druckseitigen Profillinie der Schaufel (24) mit einem Hinterkantenkreis (32) einen Überhang (30) aufweist, welcher am Staupunkt (LE) und am Schnittpunkt ( $TE_{DS}$ ) im Wesentlichen Null beträgt und welcher einen Maximalwert bei etwa einer Laufänge (s) von 20 % bis 60 % der Laufänge (s) des druckseitigen Überhangs (30) aufweist. 30  
35  
40  
45
4. Schaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** am radial äußeren Randbereich der Schaufel (24) eine umlaufende Dichtkante (33) ausgebildet ist. 50
5. Schaufel nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dichtkante (33) im Bereich des saugseitigen Überhangs (30) zwischen einer Laufänge (s) von 10 % und 30 % eine verringerte oder auf einen Wert von Null reduzierte Höhe (d) aufweist. 55
6. Schaufel nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die verringerte Höhe (d) der Dichtkante (33) eine Öffnung (34) ausbildet, welche sich zwischen 10 % und 30 % der Laufänge (s) der Dichtkante (33) erstreckt.
7. Schaufel nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dichtkante (33) eine radiale Höhe (d) von  $0,5t \leq d \leq 3t$  aufweist, wobei t der im Betrieb vorgesehene Schaufelspitzenspalt (37) ist und/oder dass die Dichtkante (33) eine Breite (b) von  $3t \leq b \leq 6t$  aufweist.
8. Schaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Höhe (h) des Überhangs (30) maximal 10 %, bevorzugt 5 % der radialen Länge des Schaufelprofil (29) beträgt.
9. Schaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Übergang vom Schaufelprofil (29) zu dem Überhang (30) abgerundet ausgebildet ist.
10. Schaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Winkel ( $\beta$ ) zwischen einer Tangente (35) an der äußeren Kante des Überhangs (30) und einem in Radialrichtung, bezogen auf eine Triebwerksachse (1) verlaufenden Vektors (36) so ausgebildet ist, dass die Tangente (35) an der Druckseite (DS) von der Schaufel (24) in einem Winkel ( $\beta_{DS}$ ) von  $10^\circ \leq \beta_{DS} \leq 50^\circ$  weg gerichtet und an der Saugseite (SS) zwischen  $0,1 \leq s \leq 0,3$  mit einem Winkel ( $\beta_{SS}$ ) von  $10^\circ \leq \beta_{SS} \leq 50^\circ$  zu der Schaufel (24) hin gerichtet und zwischen  $0,4 \leq s \leq 1$  mit einem Winkel von  $10^\circ \leq \beta_{SS} \leq 50^\circ$  von der Schaufel (24) weg gerichtet ausgebildet ist.

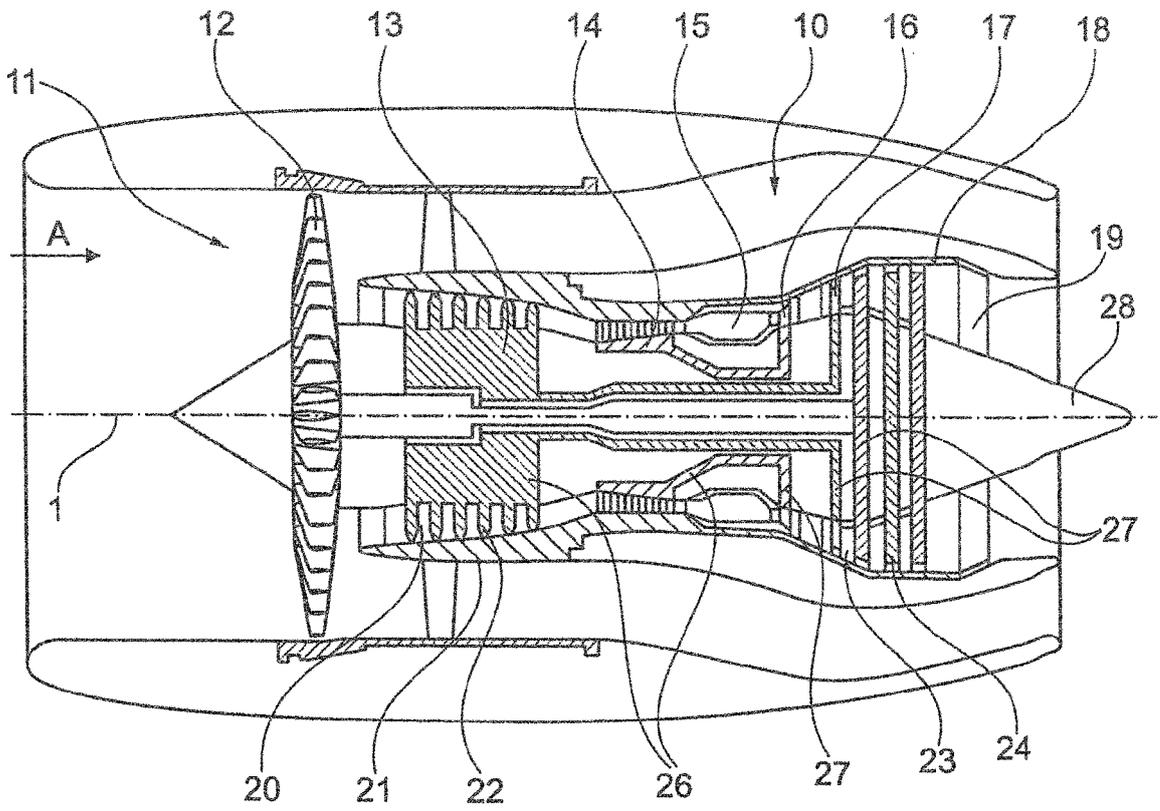


Fig. 1

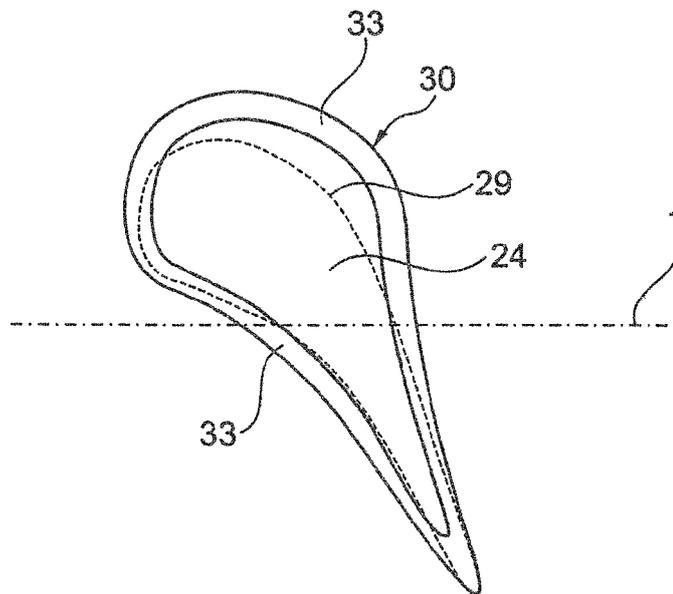


Fig. 2

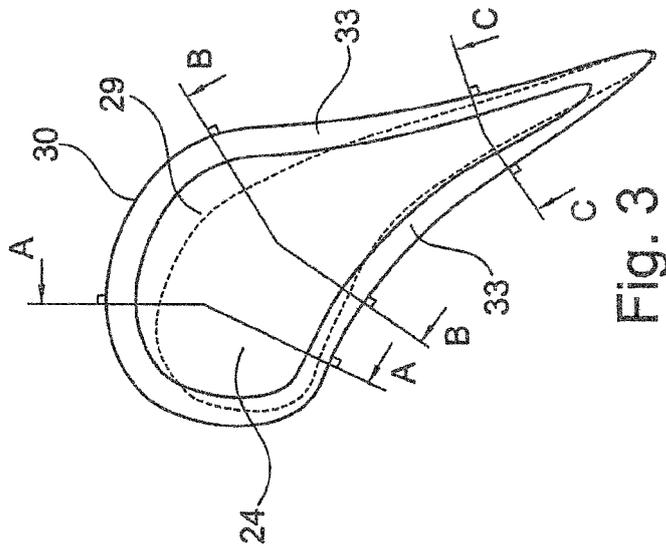
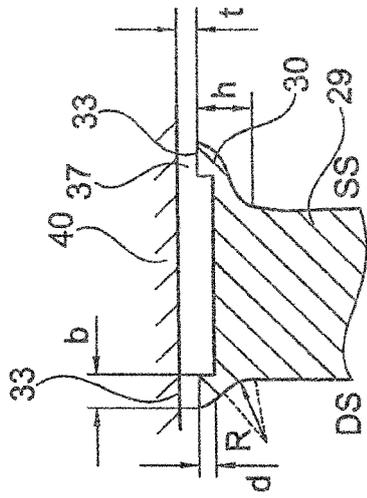
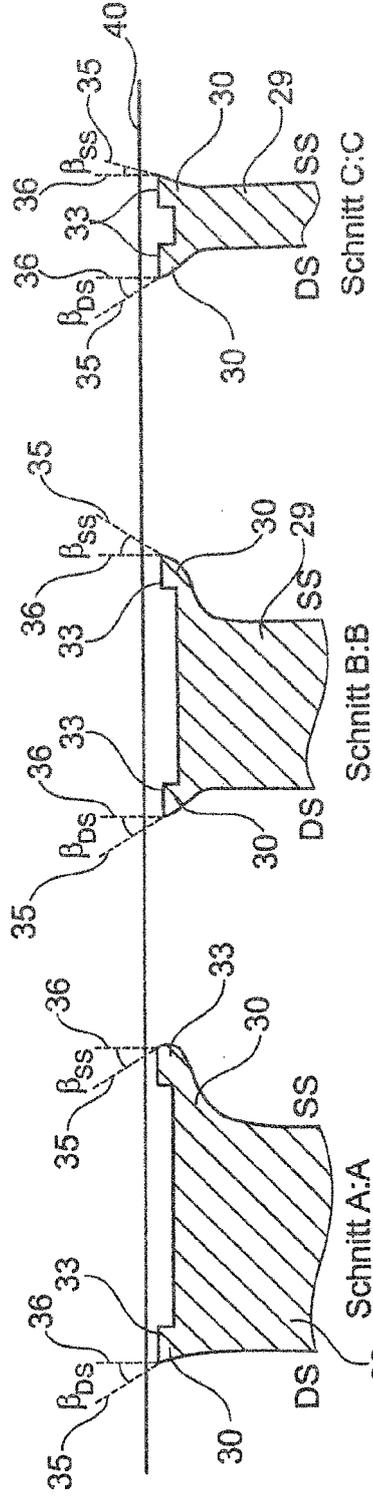


Fig. 3



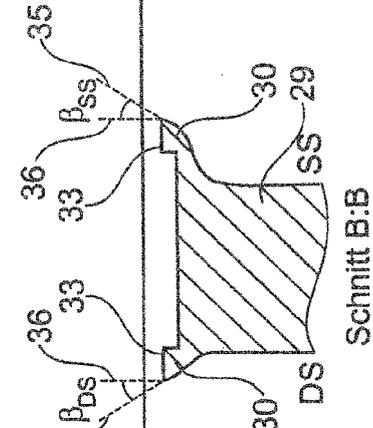
Schnitt B:B

Fig. 7



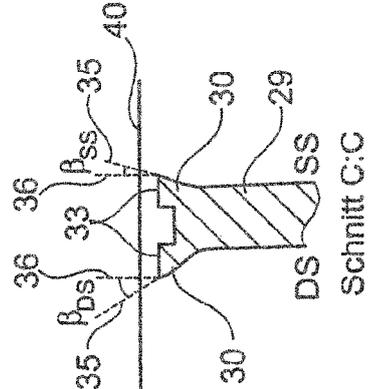
Schnitt A:A

Fig. 4



Schnitt B:B

Fig. 5



Schnitt C:C

Fig. 6

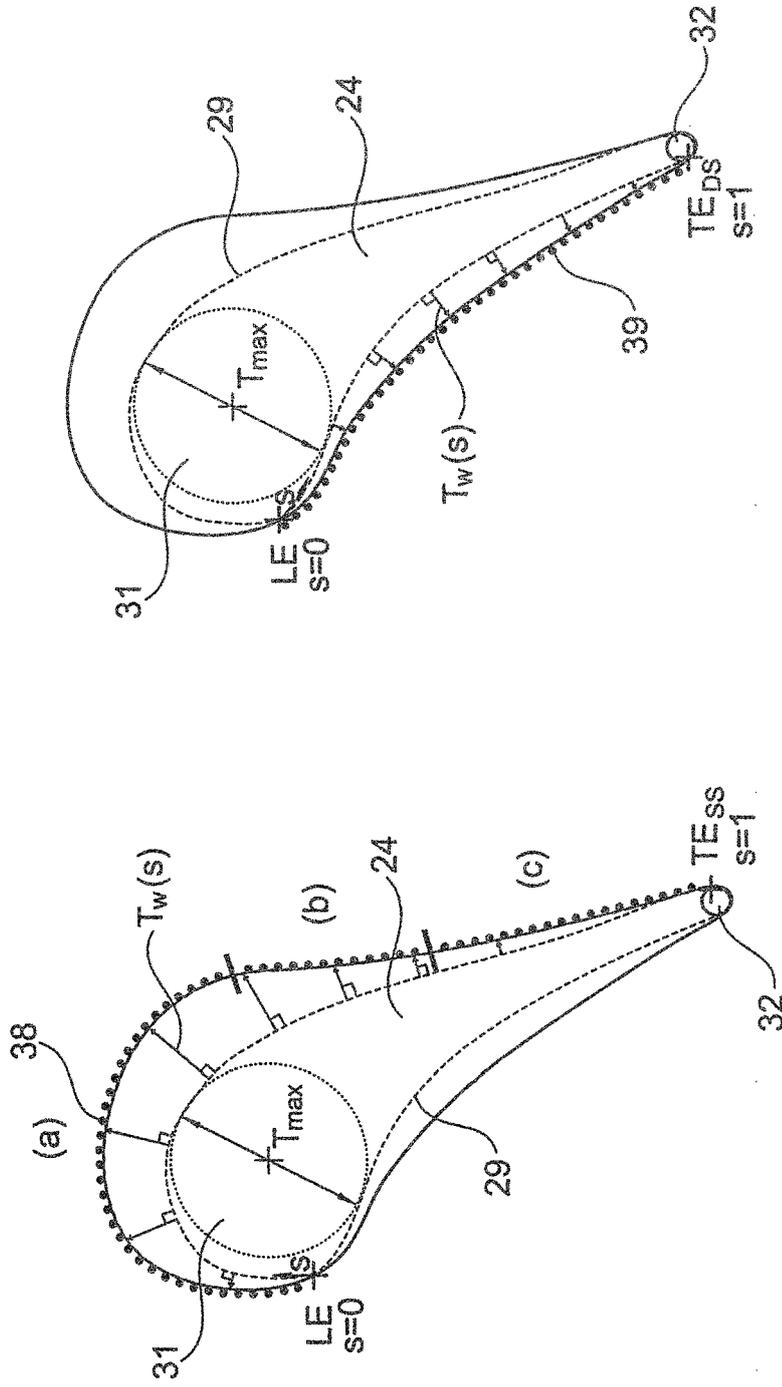


Fig. 9

Fig. 8

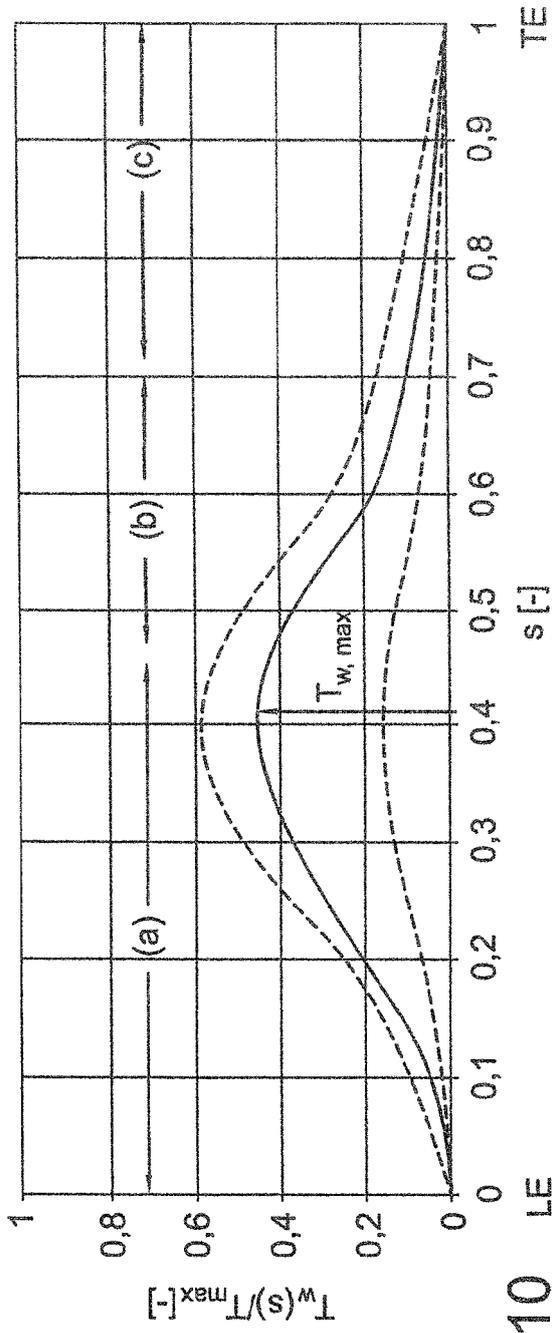


Fig. 10

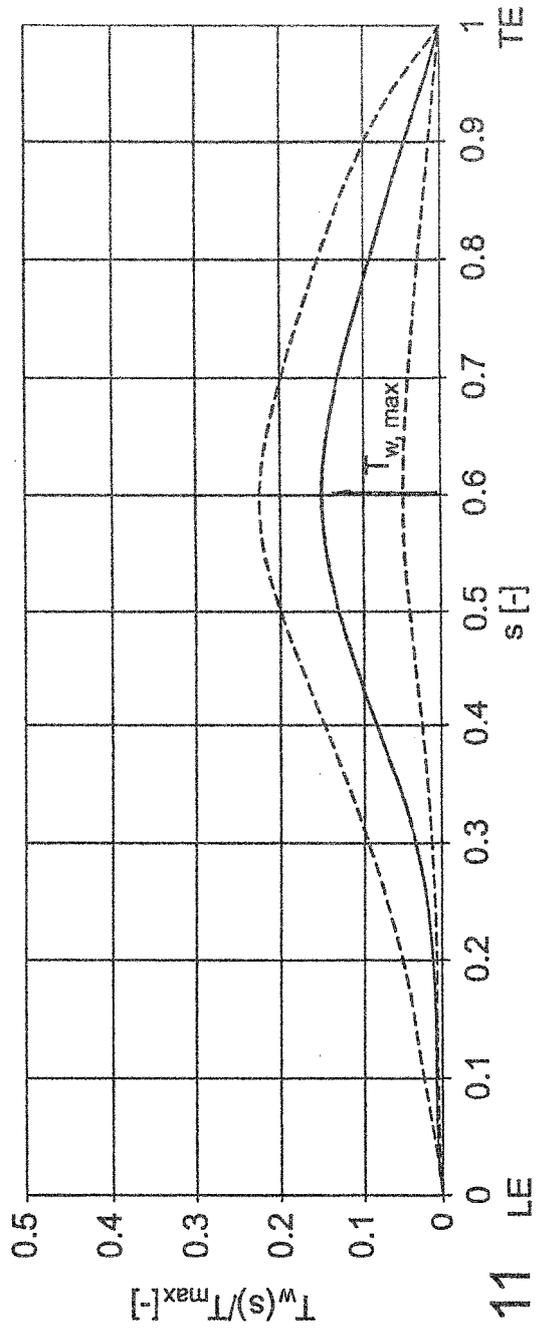


Fig. 11

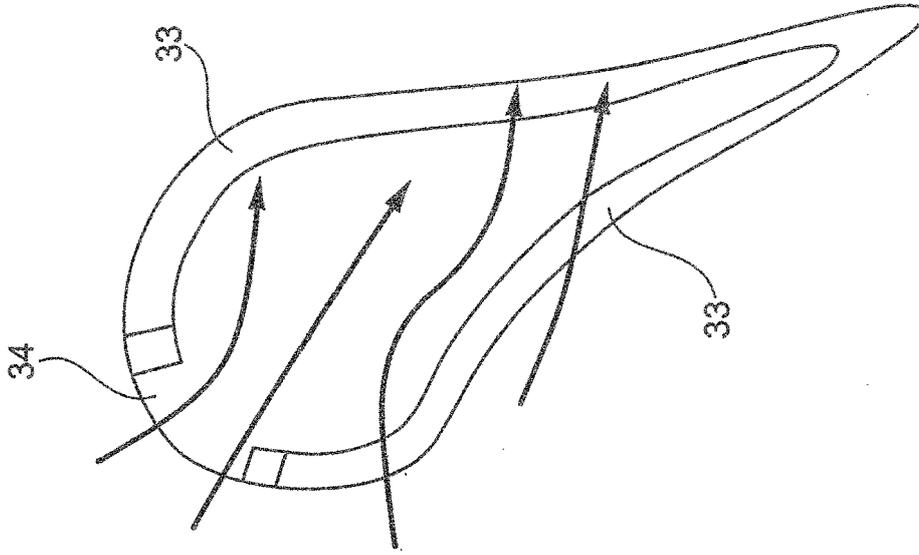


Fig. 13

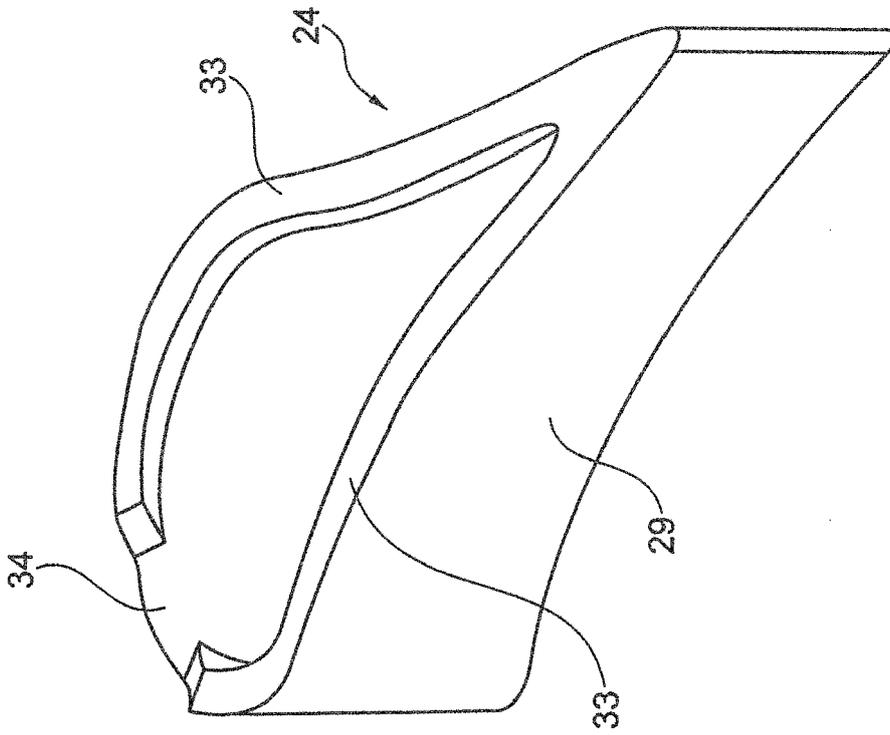


Fig. 12

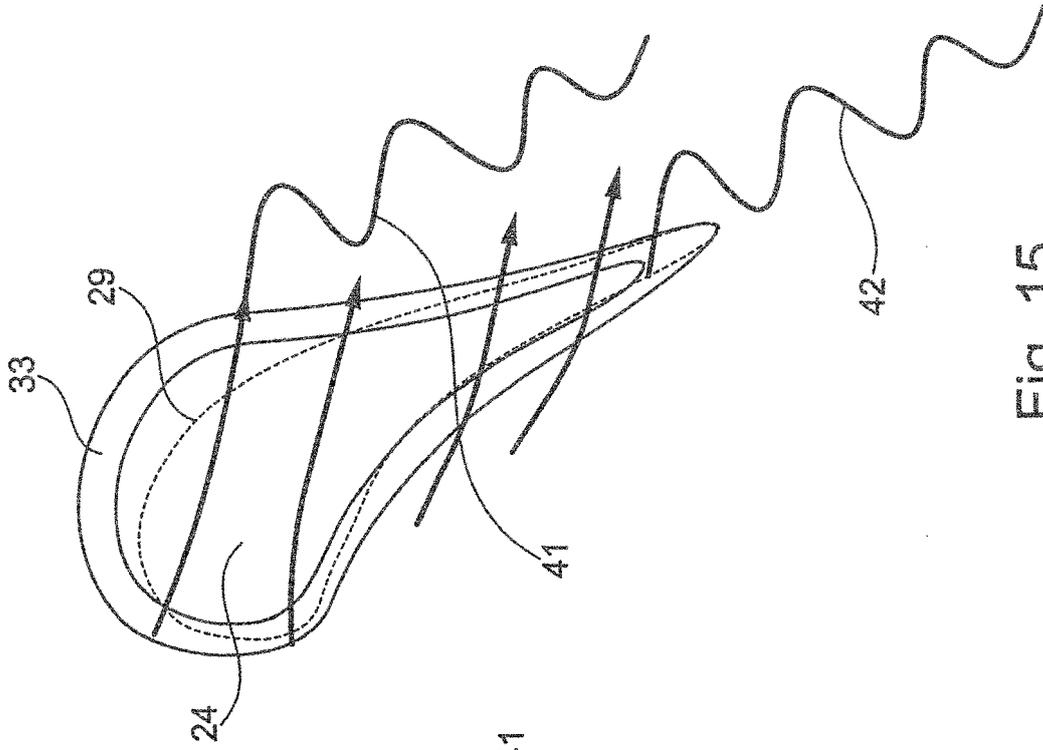


Fig. 14

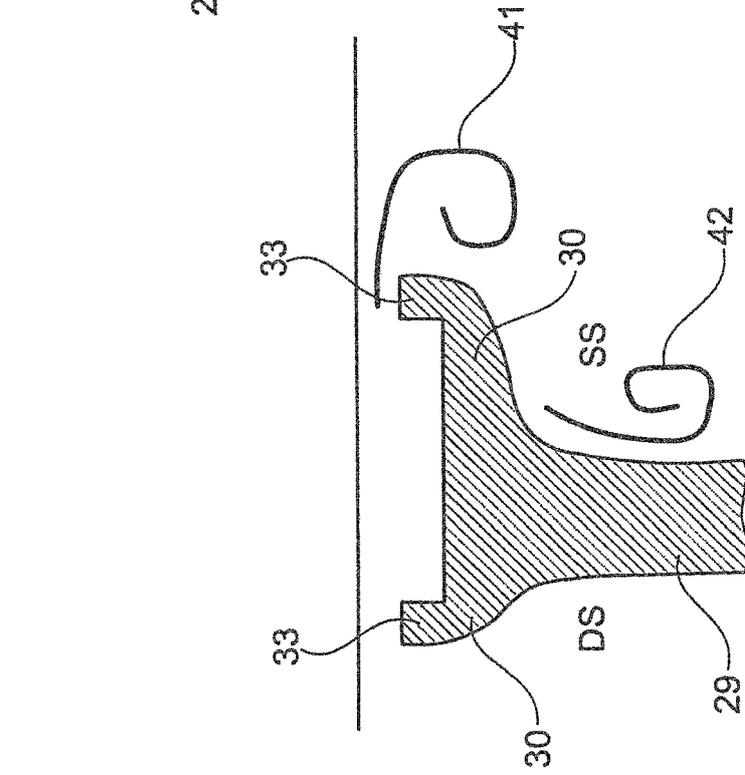


Fig. 15



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 13 19 0022

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	GB 1 491 556 A (MTU MUENCHEN GMBH [DE]) 9. November 1977 (1977-11-09) * Absatz [0006]; Abbildungen 6-9 *	1-10	INV. F01D5/20
A	EP 1 898 052 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 12. März 2008 (2008-03-12) * Absatz [0039]; Abbildung 2 *	1-10	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 19. November 2013	Prüfer Raspo, Fabrice
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1  
EPC FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 13 19 0022

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.

19-11-2013

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB 1491556      A	09-11-1977	DE 2405050 A1	07-08-1975
		FR 2259977 A1	29-08-1975
		GB 1491556 A	09-11-1977
-----			
EP 1898052      A2	12-03-2008	CN 101131096 A	27-02-2008
		EP 1898052 A2	12-03-2008
		JP 4876043 B2	15-02-2012
		JP 2008051097 A	06-03-2008
		US 2010221122 A1	02-09-2010
-----			

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**

- US 2010098554 A1 [0004]
- US 7118329 B2 [0004]
- US 6142739 A [0004]