

(19)



(11)

**EP 3 536 974 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**12.06.2024 Patentblatt 2024/24**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**F04D 29/32<sup>(2006.01)</sup> F04D 29/52<sup>(2006.01)</sup>**  
**F04D 29/68<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **19159823.4**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**F04D 29/526; F04D 29/685**

(22) Anmeldetag: **27.02.2019**

(54) **GASTURBINENVERDICHTER**

GAS TURBINE COMPRESSOR

COMPRESSEUR DE 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: **06.03.2018 DE 102018203304**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**11.09.2019 Patentblatt 2019/37**

(73) Patentinhaber: **MTU Aero Engines AG  
80995 München (DE)**

(72) Erfinder:

- **Brignole, Giovanni  
80939 München (DE)**
- **Mayenberger, Tobias  
80335 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:

**EP-A1- 2 927 503 WO-A1-03/072910**  
**WO-A1-2004/018844**

**EP 3 536 974 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 vorliegende Erfindung betrifft einen Gasturbinenverdichter sowie ein Flugtriebwerk mit einem solchen Gasturbinenverdichter und ein Verfahren zum Auslegen eines solchen Gasturbinenverdichters.

**[0002]** Aus der EP2927503 A1 ist ein Gasturbinenverdichter mit Schaufelspitzen, die jeweils eine stromaufwärtige Vorder- und eine stromabwärtige Hinterkante aufweisen, und einer diesen Schaufelspitzen radial gegenüberliegenden Strömungskanalwandung bekannt, in der eine Umfangsnut, die eine stromauf- und eine stromabwärtige Nutkante aufweist, angeordnet ist, wobei in der Umfangsnut Stege angeordnet sind, die jeweils einen radialen Rückschnitt aufweisen.

**[0003]** Eine Aufgabe einer Ausführung der vorliegenden Erfindung ist es, einen Gasturbinenverdichter zu verbessern.

**[0004]** Diese Aufgabe wird durch einen Gasturbinenverdichter mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Ansprüche 11, 12 stellen ein Flugtriebwerk mit einem hier beschriebenen Gasturbinenverdichter bzw. ein Verfahren zum Auslegen eines hier beschriebenen Gasturbinenverdichters unter Schutz. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0005]** Nach einem Aspekt der vorliegenden Erfindung weist ein, insbesondere axialer, Gasturbinenverdichter eine oder mehrere in Umfangsrichtung nebeneinander angeordnete Schaufeln mit, insbesondere deckbandlosen, Schaufelspitzen und eine diesen radial gegenüberliegende Strömungskanalwandung auf.

**[0006]** Der Gasturbinenverdichter ist in einer Ausführung ein Gasturbinenverdichter für ein Flugtriebwerk bzw. eines Flugtriebwerks, er kann insbesondere ein in einer Gasturbine stromaufwärts vor einem weiteren Gasturbinenverdichter angeordneter Niederdruckverdichter oder ein stromabwärts nach einem weiteren Gasturbinenverdichter angeordneter Hochdruckverdichter sein. Die Schaufeln sind in einer Ausführung an einem drehbar gelagerten Rotor angeordnete, im Betrieb umlaufende Laufschaufeln, deren radial äußeren Schaufelspitzen die gehäusefeste Strömungskanalwandung radial außen gegenüberliegt. In einer anderen Ausführung sind die Schaufeln gehäusefeste Leitschaufeln, denen die im Betrieb umlaufende, drehbar gelagerte Strömungskanalwandung radial innen gegenüberliegt.

**[0007]** In einer Ausführung ist eine axiale Richtung in fachüblicher Weise parallel zur Drehachse des Verdichters, eine Umfangsrichtung eine Drehrichtung um diese Drehachse und eine radiale Richtung senkrecht zur axialen und Umfangsrichtung. Stromauf- bzw. -abwärts bezieht sich in einer Ausführung in fachüblicher Weise auf eine (normale) Durchströmung(srichtung) des Verdichters, so dass in einer Ausführung stromaufwärtig einem Einlass und stromabwärtig einem Auslass des Verdichters näher liegt.

**[0008]** In der Strömungskanalwandung ist eine Um-

fangsnut angeordnet. Diese weist in einer Ausführung eine stromaufwärtige Nutflanke, die in einer stromaufwärtigen Nutkante in die Strömungskanalwandung übergeht, eine stromabwärtige Nutflanke, die in einer stromabwärtigen Nutkante in die Strömungskanalwandung übergeht, und einen diese Nutflanken verbindenden Nutgrund auf. Eine Nutkante kann in einer Ausführung scharfkantig bzw. eckig oder auch abgerundet sein bzw. einen Radius aufweisen, wobei dann für Maßangaben dessen Mittelpunkt oder Schnittpunkt seiner beiden äußersten Tangenten die Nutkante definieren kann.

**[0009]** In einer Ausführung weist die stromaufwärtige Nutflanke und/oder die stromabwärtige Nutflanke eine axiale Hinterschneidung auf, deren Querschnittsfläche in wenigstens einem Meridianschnitt in einer Weiterbildung weniger als 10% einer Querschnittsfläche der Umfangsnut zwischen ihrer stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante beträgt.

**[0010]** Ein Meridianschnitt im Sinne der vorliegenden Erfindung ist ein ebener Schnitt, der die Drehachse des Verdichters enthält. Eine axiale Hinterschneidung der stromaufwärtigen Nutflanke ist ein Bereich dieser Nutflanke, der in axialer Richtung stromaufwärts vor der stromaufwärtigen Nutkante angeordnet ist. Entsprechend ist eine axiale Hinterschneidung der stromabwärtigen Nutflanke ein Bereich dieser Nutflanke, der in axialer Richtung stromabwärts hinter der stromabwärtigen Nutkante angeordnet ist. Eine Querschnittsfläche der Umfangsnut zwischen ihrer stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante ist entsprechend die Fläche, die im Meridianschnitt vom Nutgrund, einer geraden Verbindungslinie zwischen der stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante und Senkrechten durch die stromaufwärtige und stromabwärtige Nutkante begrenzt ist.

**[0011]** Die Umfangsnut erstreckt sich in einer Ausführung, insbesondere durchgehend bzw. unterbrechungsfrei, über den vollen Umfang der Strömungskanalwandung bzw. über 360°. Mit anderen Worten ist in einer Ausführung die stromaufwärtige und stromabwärtige Nutkante jeweils eine durchgehende Kante, die sich unterbrechungsfrei über 360° erstreckt. Hierdurch kann in einer Ausführung die Herstellung und/oder Aerodynamik der Umfangsnut verbessert werden.

**[0012]** In der Umfangsnut sind ein oder mehrere Stege angeordnet. Mehrere benachbarte, insbesondere alle Stege, können in einer Ausführung gleichartig ausgebildet sein, insbesondere, wenigstens im Wesentlichen, identische Abmessungen und Konturen aufweisen. Hierdurch kann in einer Ausführung die Herstellung und/oder Aerodynamik der Umfangsnut verbessert werden. Gleichermaßen können benachbarte Stege in einer Ausführung verschiedenartig ausgebildet sein, insbesondere unterschiedliche Abmessungen und/oder Konturen aufweisen. Hierdurch können in einer Ausführung gezielt Asymmetrien dargestellt oder kompensiert werden. Drei oder mehr, insbesondere alle, Stege können in Umfangsrichtung äquidistant beabstandet sein. Gleichermaßen können drei oder mehr, insbesondere alle, Stege in Um-

fangsrichtung paarweise unterschiedliche Abstände voneinander aufweisen.

**[0013]** Ein oder mehrere, vorzugsweise alle Stege weisen einen radialen Rückschnitt auf. Unter einem radialen Rückschnitt wird vorliegend insbesondere ein Leerraum zwischen einer schaufelseitigen Stirnseite des Steges und deren Projektion in eine Referenzfläche verstanden, die sich von der stromaufwärtigen Nutkante zu der stromabwärtigen Nutkante erstreckt, wobei die Krümmung der Referenzfläche in den Meridianschnitten durch die Stirnseite gleich Unendlich oder an der stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante gleich der Krümmung der Strömungskanalwandung und dazwischen in axialer Richtung stetig linear ist. In einem Meridianschnitt wird als radialer Rückschnitt entsprechend die freie Fläche zwischen einer schaufelspitzenseitigen Oberkante des Querschnitts des Stegs und einer Referenzkurve verstanden, die sich von der stromaufwärtigen Nutkante zu der stromabwärtigen Nutkante erstreckt, wobei die Krümmung der Referenzkurve gleich Unendlich oder an der stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante gleich der Krümmung der Strömungskanalwandung und dazwischen in axialer Richtung stetig linear ist. Mit anderen Worten wird unter einem radialen Rückschnitt in einer Ausführung der Leerraum bzw. die freie Fläche zwischen der schaufelseitigen Stirnseite bzw. Oberkante des Steges und einer virtuell über die Umfangsnut hinweg fortgesetzte Strömungskanalwandung verstanden, wobei diese virtuell fortgesetzte Kontur eine gerade Verbindungsebene bzw. -linie sein oder die Nutkanten mit einer Krümmung verbinden kann, die an den Nutkanten der Krümmung der Strömungskanalwandung entspricht und dazwischen linear interpoliert.

**[0014]** Nach Ausführung der vorliegenden Erfindung beträgt in einem oder mehreren, vorzugsweise allen, Meridianschnitten durch die schaufelspitzenseitige Stirnseite des Steges ein axialer Abstand zwischen der stromaufwärtigen Vorderkante der Schaufelspitze und der stromabwärtigen Nutkante wenigstens 5%, insbesondere wenigstens 7,5%, in einer Ausführung wenigstens 10%, und/oder höchstens 40%, insbesondere höchstens 35%, in einer Ausführung höchstens 30%, der Sehnenlänge zwischen der stromaufwärtigen Vorderkante und der stromabwärtigen Hinterkante der Schaufelspitze bzw. wird der Gasturbinenverdichter derart ausgelegt bzw. dieser axiale Abstand derart gewählt.

**[0015]** Zusätzlich oder alternativ beträgt nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung in einem oder mehreren, vorzugsweise allen, Meridianschnitten durch die schaufelspitzenseitige Stirnseite des Steges ein axialer Abstand zwischen der stromaufwärtigen Vorderkante der Schaufelspitze und einem Knick einer schaufelspitzenseitigen Oberkante des Stegs im Rückschnitt höchstens 10%, insbesondere höchstens 7,5%, in einer Ausführung höchstens 5%, der Sehnenlänge zwischen der stromaufwärtigen Vorderkante und der stromabwärtigen Hinterkante der Schaufelspitze, wobei in einer Ausführung der Knick stromabwärts, in einer anderen Aus-

führung der Knick stromaufwärts von der stromaufwärtigen Vorderkante der Schaufelspitze angeordnet ist, bzw. wird der Gasturbinenverdichter derart ausgelegt bzw. dieser axiale Abstand derart gewählt. Der Knick der schaufelspitzenseitigen Oberkante kann in einer Ausführung scharfkantig bzw. eckig oder auch abgerundet sein bzw. einen Radius aufweisen, wobei dann für Maßangaben dessen Mittelpunkt oder Schnittpunkt seiner beiden äußersten Tangenten den Knick definieren kann. Als Knick wird insbesondere eine Unstetigkeitsstelle der Tangente an die Oberkante des Steges bezeichnet. In einer anderen Ausführung kann die schaufelspitzenseitige Stirnseite bzw. Oberkante des Steges im Rückschnitt auch Knickfrei sein.

**[0016]** Zusätzlich beträgt nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung in einem oder mehreren, vorzugsweise allen, Meridianschnitten durch die schaufelspitzenseitige Stirnseite des Steges ein, insbesondere minimaler, maximaler und/oder mittlerer, Abstand in radialer Richtung ("minimaler/maximaler/mittlerer) radialer Abstand") zwischen der Schaufelspitze, insbesondere ihrer stromaufwärtigen Vorderkante, und einer schaufelspitzenseitigen Oberkante des Stegs im Rückschnitt wenigstens 50%, insbesondere wenigstens 75%, in einer Ausführung wenigstens 100%, und/oder höchstens 1500%, insbesondere höchstens 1250%, in einer Ausführung höchstens 1000%, eines radialen Abstands zwischen der Schaufelspitze und der dieser radial gegenüberliegenden stromabwärtigen Nutkante bzw. wird der Gasturbinenverdichter derart ausgelegt bzw. dieser radiale Abstand derart gewählt.

**[0017]** Überraschenderweise hat sich herausgestellt, dass bei einem solchen quantitativ von einer Sehnenlänge der Schaufelspitze abhängigen "Vorlauf" des Rückschnitts vor der stromaufwärtigen Vorderkante der Schaufelspitze, einer solchen quantitativ von der Sehnenlänge der Schaufelspitze abhängigen Überlappung der Umfangsnut durch die Schaufelspitze sowie einer solchen quantitativ von der Sehnenlänge der Schaufelspitze abhängigen axialen Positionierung eines eventuellen Knicks der schaufelspitzenseitigen Oberkante des Stegs im Rückschnitt bezüglich der stromaufwärtigen Vorderkante der Schaufelspitze jeweils bereits alleine, insbesondere in Kombination von wenigstens zwei dieser quantitativen Verhältnisse, die Vorteile der Gehäusestrukturierung im Nicht-Auslegungsbetrieb ("Off-Design"), wenigstens im Wesentlichen, beibehalten werden, während gleichzeitig im Auslegungsbetrieb bzw. unter Nennbetriebsbedingungen ungewollte Strömungsphänomene reduziert und in einer Ausführung das Betriebsverhalten gegenüber einem aus der EP 2 927 503 A1 bekannten Gasturbinenverdichter weiter verbessert werden können.

**[0018]** Die Sehnenlänge bezeichnet in einer Ausführung in fachüblicher Weise die Länge der Profillehne bzw. -mittellinie der Schaufelspitze oder deren Projektion in die axiale Richtung bzw. den axialen Abstand zwischen Vorder- und Hinterkante der Schaufelspitze.

**[0019]** Ebenso überraschend hat sich herausgestellt, dass bei einer solchen quantitativ von der Spalthöhe un- mittelbar nach der Umfangsnut abhängigen Höhe des Rückschnitts bzw. radialen Abstandes zwischen dessen Oberkante und der Schaufelspitze bereits alleine, ins- besondere aber in Kombination mit einem oder mehreren der vorgenannten Verhältnisse, die Vorteile der Gehäusestrukturierung im Nicht-Auslegungsbetrieb ("Off-De- sign"), wenigstens im Wesentlichen, beibehalten wer- den, während gleichzeitig im Auslegungsbetrieb bzw. un- ter Nennbetriebsbedingungen ungewollte Strömungs- phänomene reduziert und in einer Ausführung das Be- triebverhalten gegenüber einem aus der EP 2 927 503 A1 bekannten Gasturbinenverdichter weiter verbessert werden können.

**[0020]** In einer Ausführung ist bzw. wird, insbesondere in einem oder mehreren, vorzugsweise allen, Meridian- schnitten durch die schaufelspitzenseitige Stirnseite des Steges, ein stromaufwärtiger Anfang des Rückschnitts axial stromabwärts von der stromaufwärtigen Nutkante zwischen dieser Nutkante und der stromaufwärtigen Vor- derkante der Schaufelspitze und/oder ein stromabwärti- ges Ende des Rückschnitts in einer schaufelspitzennä- heren Hälfte einer radialen Höhe der Umfangsnut ange- ordnet.

**[0021]** Überraschenderweise hat sich herausgestellt, dass durch einen solchen Rückschnitt, der stromabwärts nach der stromaufwärtigen Nutkante und stromaufwärts vor der stromaufwärtigen Vorderkante der Schaufelspit- ze beginnt bzw. in der schaufelspitzennäheren Hälfte der Umfangsnut endet, in einer Ausführung in Kombination mit einem oder mehreren der vorgenannten Verhältnisse die Vorteile der Gehäusestrukturierung im Nicht-Ausgle- gungsbetrieb ("Off-Design"), wenigstens im Wesentli- chen, beibehalten werden, während gleichzeitig im Aus- legungsbetrieb bzw. unter Nennbetriebsbedingungen ungewollte Strömungsphänomene reduziert werden können.

**[0022]** Unter einem stromaufwärtigen Anfang des Rückschnitts wird in einer Ausführung diejenige Axialpo- sition verstanden, ab der die schaufelseitigen Stirnseite bzw. Oberkante des Steges von der virtuell fortgesetzten Strömungskanalkontur bzw. der Referenzfläche bzw. -kurve von der Schaufelspitze weg zum Nutgrund hin ab- weicht. In einer anderen Ausführung wird unter einem stromaufwärtigen Anfang des Rückschnitts diejenige Axialposition verstanden, ab der die schaufelseitige Stirnseite bzw. Oberkante des Steges von der geraden Referenzfläche bzw. -kurve in radialer Richtung zum Nut- grund hin um wenigstens 1%, insbesondere wenigstens 5% eines maximalen radialen Abstandes zwischen einer schaufelspitzennäheren Nutkante und dem Nutgrund ab- weicht.

**[0023]** Der stromaufwärtige Anfang des Rückschnitts ist in einer Ausführung axial stromabwärts nach der stromaufwärtigen Nutkante und stromaufwärts vor der stromaufwärtigen Vorderkante der Schaufelspitze ange- ordnet. Bis zum Anfang des Rückschnitts setzt die schau-

felseitige Stirnseite (bzw. in einem oder mehreren, vor- zugsweise allen, Meridianschnitten durch die schaufels- pitzenseitige Stirnseite des Steges die Oberkante) des Steges in einer Ausführung die Strömungskanalkontur mit stetiger Krümmung bzw. ohne sprunghafte Änderung der Krümmung fort.

**[0024]** Unter einem stromabwärtigen Ende des Rück- schnitts wird entsprechend in einer Ausführung diejenige Axialposition verstanden, an der die schaufelseitige Stirnseite bzw. Oberkante des Steges wieder in die Re- ferenzfläche bzw. -kurve oder in die stromabwärtige Nut- flanke mündet. In einer anderen Ausführung wird unter einem stromabwärtigen Ende des Rückschnitts diejenige Axialposition verstanden, ab der die schaufelseitige Stirnseite bzw. Oberkante des Steges von der geraden Referenzfläche bzw. -kurve zum Nutgrund hin in radialer Richtung wieder um weniger als 5%, insbesondere we- niger als 1% des maximalen radialen Abstandes zwis- chen der schaufelspitzennäheren Nutkante und dem Nutgrund abweicht.

**[0025]** Das stromabwärtige Ende des Rückschnitts ist in einer Ausführung in einer schaufelspitzennäheren Hälfte einer radialen Höhe der Umfangsnut angeordnet. Unter einer radialen Höhe der Umfangsnut wird im Sinne der vorliegenden Erfindung insbesondere ein maximaler Abstand zwischen dem Nutgrund und der Referenzflä- che bzw. -kurve, insbesondere also ein maximaler Ab- stand zwischen dem Nutgrund und der schaufelspitzen- näheren Nutkante, in radialer Richtung oder einer Rich- tung senkrecht zur Verbindungslinie der stromaufwärti- gen und stromabwärtigen Nutkante verstanden, wobei auch ein solcher Abstand senkrecht zur Verbindungslinie verallgemeinernd als radiale Höhe der Umfangsnut be- zeichnet wird.

**[0026]** In einer Ausführung endet der radiale Rück- schnitt in der Referenzfläche bzw. -kurve, in einer Wei- terbildung axial stromaufwärts vor oder stromabwärts hinter der stromaufwärtigen Vorderkante der Schaufels- pitze. Bis zum Ende des Rückschnitts setzt die schau- felseitige Stirnseite (bzw. in einem oder mehreren, vor- zugsweise allen, Meridianschnitten durch die schaufels- pitzenseitige Stirnseite des Steges die Oberkante) des Steges in einer Ausführung die Strömungskanalkontur mit stetiger Krümmung bzw. ohne abrupte Änderung der Krümmung von der stromabwärtigen Nutkante stromauf- wärts fort.

**[0027]** In einer anderen Ausführung endet der radiale Rückschnitt in der radial oberen Hälfte der stromabwärtigen Nutflanke, der Steg ist ab dem Anfang des Rück- schnitts durchgehend radial rückgeschnitten. Als radial obere Hälfte wird verallgemeinernd der Teil der strom- abwärtigen Nutflanke bezeichnet, der sich in radialer Richtung oder einer Richtung senkrecht zur Verbin- dungslinie der stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante über 50% des maximalen Abstandes der strom- abwärtigen Nutkante vom Nutgrund in dieser Richtung erstreckt.

**[0028]** In einer Ausführung mündet der Steg in der

stromaufwärtigen und/oder der stromabwärtigen Nutflanke der Umfangsnut, er kann sich somit insbesondere axial durch die Nut hindurch bzw. deren maximale axiale Länge erstrecken.

**[0029]** Dann kann, wie vorstehend bereits ausgeführt, in einem oder mehreren, insbesondere allen Meridianschnitten durch die schaufelspitzenseitige Stirnseite des Steges eine schaufelspitzenseitige Oberkante des Steges an der stromaufwärtigen Nutkante dieselbe Krümmung aufweisen wie die Strömungskanalkontur, d.h. an der stromaufwärtigen Nutkante eine stetige Krümmung aufweisen, und diese bis zum Anfang des Rückschnitts stetig fortsetzen.

**[0030]** In einer Abwicklung kann der Steg gerade oder gekrümmt sein bzw. verlaufen. Insbesondere kann in einer Ausführung die schaufelseitige Stirnseite des Steges, wenigstens im Wesentlichen, axial in die stromaufwärtige Nutkante münden. Zusätzlich oder alternativ kann die schaufelseitige Stirnseite in oder entgegen einer Drehrichtung der Schaufelspitze gekrümmt in die stromabwärtige Nutflanke münden.

**[0031]** Vorzugsweise ist die Fläche des Rückschnitts in wenigstens einem Meridianschnitt auf höchstens 30%, insbesondere höchstens 25% der Querschnittsfläche der Umfangsnut limitiert. Entsprechend weist in einer Ausführung der Steg in einem oder mehreren, insbesondere allen Meridianschnitten durch die schaufelspitzenseitige Stirnseite des Steges eine Querschnittsfläche auf, die wenigstens 70%, insbesondere wenigstens 75%, der Querschnittsfläche der Umfangsnut in diesem Meridianschnitt beträgt. Eine Querschnittsfläche der Umfangsnut ist entsprechend der vorstehend erläuterten Definition die Fläche, die im Meridianschnitt vom Nutgrund, den Nutflanken und einer geraden Verbindungslinie zwischen der stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante begrenzt ist.

**[0032]** In einer Ausführung schließt die Umfangsnut in einem oder mehreren, insbesondere allen Meridianschnitten durch die schaufelspitzenseitige Stirnseite des Steges an der stromaufwärtigen Nutkante mit der Strömungskanalwandung einen Winkel ein, der zwischen 60° und 90° beträgt. Hierdurch kann insbesondere eine vorteilhafte axiale Hinterschneidung dargestellt werden.

**[0033]** In einer Ausführung ist ein axialer Abstand zwischen der stromaufwärtigen Nutkante und der hiervon stromabwärts angeordneten Vorderkante der Schaufelspitze größer als ein axialer Abstand zwischen der stromabwärtigen Nutkante und der hiervon stromaufwärts angeordneten Vorderkante der Schaufelspitze. Mit anderen Worten ist die Vorderkante der Schaufelspitze zwischen der stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante und näher bei der stromabwärtigen Nutkante angeordnet.

**[0034]** In einer Ausführung beträgt ein axialer Abstand zwischen der stromaufwärtigen und der stromabwärtigen Nutkante wenigstens 25% eines axialen Abstands zwischen der stromaufwärtigen Vorderkante und der stromabwärtigen Hinterkante der Schaufelspitze.

**[0035]** In einem Schnitt senkrecht zu einer Drehachse des Verdichters kann der Steg gerade oder gekrümmt sein, wobei er bzw. seine Tangenten radial verlaufen oder gegen die radiale Richtung geneigt sein können.

5 Entsprechend ist in einer Ausführung in einem oder mehreren, insbesondere allen Schnitten senkrecht zur Drehachse des Verdichters durch die schaufelspitzenseitige Stirnseite des Steges der Steg zum Nutgrund der Umfangsnut hin in Drehrichtung der Schaufelspitze geneigt, insbesondere um wenigstens 25° und/oder höchstens 65° gegen die radiale Richtung.

**[0036]** Maßangaben beziehen sich in einer Ausführung auf eine Bauteiltemperatur von 20°C und/oder Bauteile ohne elastische Deformation.

15 **[0037]** Weitere vorteilhafte Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungen. Hierzu zeigt, teilweise schematisiert, die einzige:

20 Fig. 1 einen Teil eines Gasturbinenverdichters nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung in einem Meridianschnitt.

25 **[0038]** Fig. 1 zeigt in einem Meridianschnitt einen Teil eines Gasturbinenverdichters nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung bzw. eines nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung ausgelegten Gasturbinenverdichters. Der Meridianschnitt enthält die Drehachse des Verdichters (horizontal in Fig. 1), die in Fig. 1 vertikale Richtung ist eine radiale Richtung.

**[0039]** Der Gasturbinenverdichter weist in Umfangsrichtung (senkrecht zur Zeichenebene der Fig. 1) nebeneinander angeordnete Laufschaufeln mit deckbandlosen Schaufelspitzen, von denen im Meridianschnitt der Fig. 1 eine Laufschaufelspitze 10 teilweise dargestellt ist, und eine diesen radial außen gegenüberliegende gehäusefeste Strömungskanalwandung 20 auf.

**[0040]** In der Strömungskanalwandung ist eine Umfangsnut angeordnet, die eine stromaufwärtige Nutflanke 31, die in einer stromaufwärtigen Nutkante 21 in die Strömungskanalwandung übergeht, eine stromabwärtige Nutflanke 32, die in einer stromabwärtigen Nutkante 22 in die Strömungskanalwandung übergeht, und einen diese Nutflanken verbindenden Nutgrund 33 aufweist.

**[0041]** Die stromaufwärtige Nutflanke weist eine axiale Hinterschneidung auf, deren Querschnittsfläche in dem Meridianschnitt weniger als 10% einer Querschnittsfläche der Umfangsnut zwischen ihrer stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante beträgt. Diese Querschnittsfläche der Umfangsnut zwischen ihrer stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante ist die Fläche, die im Meridianschnitt der Fig. 1 vom Nutgrund, einer geraden Verbindungslinie 24 zwischen der stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante und Senkrechten durch die stromaufwärtige und stromabwärtige Nutkante begrenzt ist, die in Fig. 1 strichpunktirt angedeutet sind, die Querschnittsfläche der Hinterschneidung entspre-

chend die Fläche zwischen der stromaufwärtigen Nutflanke 31 und der in Fig. 1 linken strichpunktieren Senkrechten auf die Verbindungslinie 24 .

**[0042]** In der Umfangsnut sind mehrere Stege in Umfangsrichtung (senkrecht auf der Zeichenebene der Fig. 1) beabstandet angeordnet, von denen in dem Meridianschnitt der Fig. 1 ein Steg 40 geschnitten dargestellt ist.

**[0043]** Mit 24 ist in Fig. 1, wie vorstehend bereits erläutert, eine gerade Verbindungslinie 24 zwischen der stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante 21, 22 bezeichnet. Diese stellt somit eine Referenzkurve dar, die sich von der stromaufwärtigen Nutkante zu der stromabwärtigen Nutkante erstreckt, wobei ihre Krümmung gleich Unendlich ist.

**[0044]** Mit 23 ist in Fig. 1 eine andere Referenzkurve bezeichnet, die sich ebenfalls von der stromaufwärtigen Nutkante zu der stromabwärtigen Nutkante erstreckt, wobei die Krümmung dieser Referenzkurve an der stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante jeweils gleich der Krümmung der Strömungskanalwandung und dazwischen in axialer Richtung stetig linear ist, d.h. die Krümmung der Strömungskanalwandung 20 zwischen den Nutkanten 21, 22 linear interpoliert. Diese Referenzkurve 23 setzt die Strömungskanalwandung 20 somit virtuell über die Umfangsnut hinweg fort.

**[0045]** Die Referenzkurven 23, 24 stellen jeweils eine sich in Umfangsrichtung erstreckende entsprechende Referenzfläche 23, 24 in dem Meridianschnitt der Fig. 1 durch eine schaufelspitzenartige Stirnfläche bzw. Oberkante 43 des Steges 40 dar.

**[0046]** Wie im Meridianschnitt der Fig. 1 erkennbar, weicht die schaufelspitzenartige Stirnfläche bzw. Oberkante 43 von einem Punkt bzw. einer Umfangslinie 41 ab bis zu einem weiteren Punkt bzw. einer weiteren Umfangslinie 42 von der Referenzkurve bzw. -fläche 23 bzw. der virtuell fortgesetzten Strömungskanalwandung von der Schaufelspitze weg zum Nutgrund hin radial (nach oben in Fig. 1) ab.

**[0047]** Ab dem Punkt bzw. der Umfangslinie 41 weicht die schaufelspitzenartige Stirnseite bzw. Oberkante 43 zudem von der geraden Referenzfläche bzw. -kurve 24 zum Nutgrund hin um wenigstens 1% eines maximalen radialen Abstandes zwischen der schaufelspitzenartigen Nutkante 22 und dem Nutgrund 33 ab.

**[0048]** Der Punkt bzw. die Umfangslinie 41 definiert damit einen stromaufwärtigen Anfang eines radialen Rückschnitts 44 des Steges.

**[0049]** Bis zu diesem Anfang 41 des Rückschnitts 44 setzt die schaufelspitzenartige Stirnseite bzw. Oberkante des Steges die Strömungskanalwandung 20 mit stetiger Krümmung fort.

**[0050]** Der Punkt bzw. die Umfangslinie 42 definiert ein stromabwärtiges Ende des radialen Rückschnitts 44, an dem bzw. der die schaufelspitzenartige Stirnseite bzw. Oberkante 43 des Steges in die stromabwärtige Nutflanke 32 mündet.

**[0051]** In einer nicht dargestellten Abwandlung mündet die schaufelspitzenartige Stirnseite bzw. Oberkante 43 des Ste-

ges hingegen wieder in die Referenzfläche bzw. -kurve 23. Dann stellt der Punkt bzw. die Umfangslinie, an dem bzw. der die schaufelspitzenartige Stirnseite bzw. Oberkante 43 des Steges wieder in die Referenzfläche bzw. -kurve 23 mündet, oder der Punkt bzw. die Umfangslinie, ab dem bzw. der die schaufelspitzenartige Stirnseite bzw. Oberkante des Steges von der geraden Referenzfläche bzw. -kurve 24 zum Nutgrund 33 hin wieder um weniger als 1% des maximalen radialen Abstandes zwischen der schaufelspitzenartigen Nutkante 22 und dem Nutgrund 33 abweicht, das stromabwärtige Ende des radialen Rückschnitts dar.

**[0052]** In dieser nicht dargestellten Abwandlung kann die schaufelspitzenartige Stirnseite bzw. Oberkante des Steges die Strömungskanalwandung mit stetiger Krümmung von der stromabwärtigen Nutkante 22 stromaufwärts (nach links in Fig. 1) bis zu diesem Ende des Rückschnitts fortsetzen, wie dies analog für den Bereich zwischen der stromaufwärtigen Nutkante 21 und dem stromaufwärtigen Anfang 41 des Rückschnitts gezeigt bzw. erläutert ist.

**[0053]** Der Leerraum bzw. die freie Fläche zwischen der schaufelspitzenartigen Stirnseite bzw. Oberkante 43 des Steges und der Referenzfläche bzw. -kurve 23 definiert somit den radialen Rückschnitt 44 mit seinem stromaufwärtigen Anfang 41 und seinem stromabwärtigen Ende 42.

**[0054]** Wie im Meridianschnitt der Fig. 1 erkennbar, wird bzw. ist dieser stromaufwärtige Anfang 41 des Rückschnitts 44 axial stromabwärts (rechts in Fig. 1) von der stromaufwärtigen Nutkante 21 zwischen dieser Nutkante 21 und der stromaufwärtigen Vorderkante 11 der Schaufelspitze 10 und das stromabwärtige Ende 42 des Rückschnitts 44 in einer schaufelspitzenartigen Hälfte 34 einer radialen Höhe 35 der Umfangsnut angeordnet.

**[0055]** Dabei kann als radiale Höhe der maximale Abstand zwischen dem Nutgrund 33 und der schaufelspitzenartigen Nutkante 22 in radialer Richtung (vertikal in Fig. 1) oder, wie in Fig. 1 angedeutet, der maximale Abstand 35 zwischen dem Nutgrund 33 und der schaufelspitzenartigen Nutkante 22 in einer Richtung senkrecht zur geraden Verbindungslinie 24 der stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante definiert sein.

**[0056]** In der dargestellten Ausführung endet der radiale Rückschnitt in der radial oberen Hälfte 34 der stromabwärtigen Nutflanke 32, der Steg ist ab dem Anfang 41 durchgehend radial rückgeschnitten. Als radial obere Hälfte wird der Teil bzw. Bereich der stromabwärtigen Nutflanke 32 bezeichnet, der sich in radialer Richtung oder der Richtung senkrecht zur Verbindungslinie 24 der stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante über 50% des maximalen Abstandes der stromabwärtigen Nutkante 22 vom Nutgrund 33 in dieser Richtung erstreckt.

**[0057]** In der Ausführung der Fig. 1 mündet der Steg 40 in der stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutflanke 31, 32 der Umfangsnut, er erstreckt sich somit axial durch die Nut hindurch.

**[0058]** Wie vorstehend bereits ausgeführt, weist die schaufelspitzenseitige Stirnfläche bzw. Oberkante des Stegs an der stromaufwärtigen Nutkante 21 dieselbe Krümmung auf wie die Strömungskanalkontur 20 und setzt diese bis zum Anfang 41 des Rückschnitts 44 stetig fort.

**[0059]** In der Ausführung der Fig. 1 weist der Steg 40 eine in Fig. 1 schraffiert angedeutete Querschnittsfläche auf, die wenigstens 75% der Querschnittsfläche der Umfangsnut in diesem Meridianschnitt beträgt, welche durch die Nutflanken 31, 32, den Nutgrund 33 und die Verbindungslinie 24 zwischen den beiden Nutkanten 21, 22 definiert ist.

**[0060]** In der Ausführung der Fig. 1 schließt die Umfangsnut an der stromaufwärtigen Nutkante 21 mit der Strömungskanalwandung 20 einen Winkel  $\alpha$  ein, der zwischen  $60^\circ$  und  $90^\circ$  beträgt.

**[0061]** In der Ausführung der Fig. 1 ist ein axialer Abstand zwischen der stromaufwärtigen Nutkante 21 und der hiervon stromabwärts (rechts in Fig. 1) angeordneten Vorderkante 11 der Schaufelspitze 10 größer als ein axialer Abstand zwischen der stromabwärtigen Nutkante 22 und der hiervon stromaufwärts angeordneten Vorderkante 11.

**[0062]** In der Ausführung der Fig. 1 beträgt ein axialer Abstand zwischen der stromaufwärtigen und der stromabwärtigen Nutkante 21, 22 wenigstens 25% eines axialen Abstands zwischen der stromaufwärtigen Vorderkante 11 und einer stromabwärtigen Hinterkante 12 der Schaufelspitze 10.

**[0063]** Mit  $S_{AX}$  ist schematisch eine axiale Sehnenlänge der Schaufelspitze 10 angedeutet, wobei diese gleichermaßen dem axialen Abstand zwischen Vorder- und Hinterkante 11, 12 oder auch der Länge der Profilhöhle bzw. -mittellinie der Schaufelspitze 10 entsprechen kann.

**[0064]** Ein axialer Abstand  $L_{KOZ}$  zwischen dem stromaufwärtigen Anfang 41 des Rückschnitts 44 und der stromaufwärtigen Vorderkante 11 der Schaufelspitze beträgt zwischen 1% und 40%, vorzugsweise zwischen 2% und 15%, dieser solcherart definierten Sehnenlänge  $S_{AX}$ .

**[0065]** Ein axialer Abstand  $L_{OL}$  zwischen der stromaufwärtigen Vorderkante 11 der Schaufelspitze und der stromabwärtigen Nutkante 22 beträgt zwischen 5% und 40%, vorzugsweise zwischen 10% und 30%, der Sehnenlänge  $S_{AX}$ .

**[0066]** Ein axialer Abstand  $\Delta_{45}$  zwischen der stromaufwärtigen Vorderkante 11 der Schaufelspitze und einem Knick 45 der schaufelspitzenseitigen Stirnseite bzw. Oberkante 43 des Stegs im Rückschnitt beträgt höchstens 10%, vorzugsweise höchstens 5%, der Sehnenlänge  $S_{AX}$ .

**[0067]** Ein radialer Abstand zwischen der Schaufelspitze 10 und der schaufelspitzenseitigen Stirnseite bzw. Oberkante 43 des Stegs im Rückschnitt 44 beträgt zwischen 50% und 1500%, vorzugsweise zwischen 100% und 1000%, eines radialen Abstands  $H_{GAP}$  zwischen der Schaufelspitze 10 und der dieser radial gegenüberliegenden stromabwärtigen Nutkante 22. Exemplarisch ist in Fig. 1 der minimale radiale Abstand  $H_{KOZ}$  zwischen

der Schaufelspitze 10 und der schaufelspitzenseitigen Stirnseite bzw. Oberkante 43 angedeutet, gleichermaßen kann auch ein maximaler oder mittlerer Abstand bzw. Abstand an der Vorderkante 11 zugrunde gelegt werden.

**[0068]** Obwohl in der vorhergehenden Beschreibung exemplarische Ausführungen erläutert wurden, sei darauf hingewiesen, dass eine Vielzahl von Abwandlungen möglich ist. Außerdem sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den exemplarischen Ausführungen lediglich um Beispiele handelt, die den Schutzbereich, die Anwendungen und den Aufbau in keiner Weise einschränken sollen. Vielmehr wird dem Fachmann durch die vorausgehende Beschreibung ein Leitfaden für die Umsetzung von mindestens einer exemplarischen Ausführung gegeben, wobei diverse Änderungen, insbesondere in Hinblick auf die Funktion und Anordnung der beschriebenen Bestandteile, vorgenommen werden können, ohne den Schutzbereich zu verlassen, wie er sich aus den Ansprüchen ergibt.

#### Bezugszeichenliste

#### [0069]

10	Schaufelspitze
11	Vorderkante
12	Hinterkant
20	Strömungskanalkontur
21	stromaufwärtige Nutkante
22	stromabwärtige Nutkante
23	Referenzfläche/-kurve
24	gerade Referenzfläche/-kurve
31	stromaufwärtige Nutflanke
32	stromabwärtige Nutflanke
33	Nutgrund
34	schaufelspitzennähere Hälfte der Umfangsnut
35	radiale Höhe der Umfangsnut
40	Steg
41	stromaufwärtiger Anfang des Rückschnitts
42	stromabwärtiges Ende des Rückschnitts
43	schaufelspitzenseitige Stirnseite/Oberkante
44	Rückschnitt
45	Knick
$\alpha$	Winkel
$H_{KOZ}$	radialer Abstand Schaufelspitze - schaufelspitzenseitige Stirnseite/Oberkante
$H_{GAP}$	radialer Abstand Schaufelspitze - stromabwärtige Nutkante
$L_{KOZ}$	axialer Abstand Rückschnittanfang - Schaufelspitzenvorderkante
$L_{OL}$	axialer Abstand Schaufelspitzenvorderkante - stromabwärtige Nutkante
$S_{AX}$	axiale Sehnenlänge
$\Delta_{45}$	axialer Abstand Knick - Schaufelspitzenvorderkante

## Patentansprüche

1. Gasturbinenverdichter, mit wenigstens einer Schaufelspitze (10), die eine stromaufwärtige Vorderkante (11) und eine stromabwärtige Hinterkante (12) aufweist, und einer dieser Schaufelspitze radial gegenüberliegenden Strömungskanalwandung (20), in der eine Umfangsnut (31-33), die eine stromaufwärtige Nutkante (21) und eine stromabwärtige Nutkante (22) aufweist, angeordnet ist,

wobei in der Umfangsnut wenigstens ein Steg (40) angeordnet ist, der einen radialen Rückschnitt (44) aufweist;

wobei in wenigstens einem Meridianschnitt durch die schaufelspitzenseitige Stirnseite des Steges die stromaufwärtige Vorderkante (11) der Schaufelspitze (10) in axialer Richtung zwischen einem stromaufwärtigen Anfang (41) des Rückschnitts und der stromabwärtigen Nutkante (22) angeordnet ist,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** in wenigstens dem Meridianschnitt durch eine schaufelspitzenseitige Stirnseite des Steges ein axialer Abstand ( $L_{OL}$ ) zwischen der stromaufwärtigen Vorderkante (11) der Schaufelspitze und der stromabwärtigen Nutkante (22) wenigstens 5% und höchstens 40% der Sehnenlänge ( $S_{AX}$ ) zwischen der stromaufwärtigen Vorderkante (11) und der stromabwärtigen Hinterkante (12) der Schaufelspitze beträgt und/oder

ein axialer Abstand ( $\Delta_{45}$ ) zwischen der stromaufwärtigen Vorderkante (11) der Schaufelspitze und einem Knick (45) einer schaufelspitzenseitigen Oberkante (43) des Stegs im Rückschnitt höchstens 10% der Sehnenlänge ( $S_{AX}$ ) zwischen der stromaufwärtigen Vorderkante (11) und der stromabwärtigen Hinterkante (12) der Schaufelspitze beträgt.

2. Gasturbinenverdichter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein radialer Abstand ( $H_{KOZ}$ ) zwischen der Schaufelspitze (10) und einer schaufelspitzenseitigen Oberkante (43) des Stegs im Rückschnitt wenigstens 50% und/oder höchstens 1500% eines radialen Abstands ( $H_{GAP}$ ) zwischen der Schaufelspitze (10) und der dieser radial gegenüberliegenden stromabwärtigen Nutkante (22) beträgt.

3. Gasturbinenverdichter nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der stromaufwärtige Anfang (41) des Rückschnitts axial stromabwärts von der stromaufwärtigen Nutkante (21) zwischen dieser Nutkante und der stromaufwärtigen Vorderkante (11) der Schaufelspitze und/oder ein stromabwärtiges Ende (42) des Rückschnitts in einer schau-

felspitzennäheren Hälfte (34) einer radialen Höhe (35) der Umfangsnut angeordnet ist.

4. Gasturbinenverdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in wenigstens einem Meridianschnitt die schaufelspitzenseitige Oberkante (43) des Stegs an der stromaufwärtigen Nutkante, insbesondere bis zum Anfang des Rückschnitts, eine stetige Krümmung aufweist; und/oder dass eine schaufelseitige Stirnseite (43) des Steges, wenigstens im Wesentlichen, axial in die stromaufwärtige Nutkante und/oder in oder entgegen einer Drehrichtung der Schaufelspitze gekrümmt in die stromabwärtige Nutflanke mündet.

5. Gasturbinenverdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Steg in einer stromaufwärtigen und/oder einer stromabwärtigen Nutflanke (31, 32) der Umfangsnut mündet und/oder in wenigstens einem Meridianschnitt eine Querschnittsfläche aufweist, die wenigstens 70%, insbesondere wenigstens 75%, einer Querschnittsfläche der Umfangsnut beträgt.

6. Gasturbinenverdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umfangsnut sich über den vollen Umfang der Strömungskanalwandung erstreckt und/oder in wenigstens einem Meridianschnitt an der stromaufwärtigen Nutkante mit der Strömungskanalwandung einen Winkel ( $\alpha$ ) einschließt, der zwischen 60° und 90° beträgt.

7. Gasturbinenverdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein axialer Abstand zwischen der stromaufwärtigen Nutkante und der hiervon stromabwärts angeordneten Vorderkante der Schaufelspitze größer ist als der axiale Abstand zwischen der stromabwärtigen Nutkante und der hiervon stromaufwärts angeordneten Vorderkante der Schaufelspitze; und/oder dass ein axialer Abstand zwischen der stromaufwärtigen und der stromabwärtigen Nutkante wenigstens 25% eines axialen Abstands zwischen der stromaufwärtigen Vorderkante und der stromabwärtigen Hinterkante der Schaufelspitze beträgt.

8. Gasturbinenverdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Steg in wenigstens einem Schnitt senkrecht zu einer Drehachse des Verdichters zu einem Nutgrund der Umfangsnut hin in Drehrichtung der Schaufelspitze geneigt ist, insbesondere um wenigstens 25° und/oder höchstens 65° gegen eine radiale Richtung; und/oder dass in der Umfangsnut wenigstens drei gleich- oder verschiedenartige Stege in Umfangsrichtung äquidistant oder mit unter-

schiedlichen Abständen voneinander angeordnet sind.

9. Gasturbinenverdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schaufelspitze eine radial äußere Schaufelspitze (11) einer Laufschaufel (10), der die Strömungskanalwandung radial außen gegenüberliegt, oder eine radial innere Schaufelspitze einer Leit-schaufel, der die Strömungskanalwandung radial innen gegenüberliegt, ist.
10. Gasturbinenverdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine stromaufwärtige Nutflanke (31) und/oder eine stromabwärtige Nutflanke (32) der Umfangsnut eine axiale Hinterschneidung aufweisen, deren Querschnittsfläche in wenigstens einem Meridianschnitt weniger als 10% einer Querschnittsfläche der Umfangsnut zwischen ihrer stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante beträgt.
11. Flugtriebwerk mit einem Gasturbinenverdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche.
12. Verfahren zum Auslegen eines Gasturbinenverdichters nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in wenigstens einem Meridianschnitt ein axialer Abstand ( $L_{OL}$ ) zwischen der stromaufwärtigen Vorderkante (11) der Schaufelspitze und der stromabwärtigen Nutkante (22) so gewählt wird, dass er wenigstens 5% und höchstens 40% der Sehnenlänge ( $S_{AX}$ ) zwischen der stromaufwärtigen Vorderkante (11) und der stromabwärtigen Hinterkante (12) der Schaufelspitze beträgt und/oder ein axialer Abstand ( $\Delta_{45}$ ) zwischen der stromaufwärtigen Vorderkante (11) der Schaufelspitze und einem Knick einer schaufelspitzenseitigen Oberkante (43) des Stegs im Rückschnitt so gewählt wird, dass er höchstens 10% der Sehnenlänge ( $S_{AX}$ ) zwischen der stromaufwärtigen Vorderkante (11) und der stromabwärtigen Hinterkante (12) der Schaufelspitze beträgt
13. Verfahren zum Auslegen eines Gasturbinenverdichters nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein radialer Abstand ( $H_{KOZ}$ ) zwischen der Schaufelspitze (10) und einer schaufelspitzenseitigen Oberkante (43) des Stegs im Rückschnitt so gewählt wird, dass er wenigstens 50% und/oder höchstens 1500% eines radialen Abstands ( $H_{GAP}$ ) zwischen der Schaufelspitze (10) und der dieser radial gegenüberliegenden stromabwärtigen Nutkante (22) beträgt.

## Claims

1. Gas turbine compressor, comprising at least one blade tip (10) which has an upstream leading edge (11) and a downstream trailing edge (12), and a flow channel wall (20) which is radially opposite said blade tip and in which a circumferential groove (31-33) having an upstream groove edge (21) and a downstream groove edge (22) is arranged,
- at least one web (40) being arranged in the circumferential groove, which web has a radial recess (44);
- the upstream leading edge (11) of the blade tip (10) being arranged in the axial direction between an upstream start (41) of the recess and the downstream groove edge (22) in at least one meridian section through the blade-tip-side end face of the web,
- characterized in that**
- in at least the meridian section through a blade-tip-side end face of the web, an axial distance ( $L_{OL}$ ) between the upstream leading edge (11) of the blade tip and the downstream groove edge (22) is at least 5% and at most 40% of the chord length ( $S_{AX}$ ) between the upstream leading edge (11) and the downstream trailing edge (12) of the blade tip, and/or
- an axial distance ( $\Delta_{45}$ ) between the upstream leading edge (11) of the blade tip and a kink (45) of a blade-tip-side upper edge (43) of the web in the recess is at most 10% of the chord length ( $S_{AX}$ ) between the upstream leading edge (11) and the downstream trailing edge (12) of the blade tip.
2. Gas turbine compressor according to claim 1, **characterized in that** a radial distance ( $H_{KOZ}$ ) between the blade tip (10) and a blade-tip-side upper edge (43) of the web in the recess is at least 50% and/or at most 1500% of a radial distance ( $H_{GAP}$ ) between the blade tip (10) and the downstream groove edge (22) radially opposite thereto.
3. Gas turbine compressor according to either claim 1 or claim 2, **characterized in that** the upstream start (41) of the recess is arranged axially downstream of the upstream groove edge (21), between said groove edge and the upstream leading edge (11) of the blade tip, and/or a downstream end (42) of the recess is arranged in a half (34), closer to the blade tip, of a radial height (35) of the circumferential groove.
4. Gas turbine compressor according to any of the preceding claims, **characterized in that**, in at least one meridian section, the blade-tip-side upper edge (43) of the web has a continuous curvature at the upstream groove edge, in particular up to the start of

- the recess; and/or **in that** a blade-tip-side end face (43) of the web opens, at least substantially, axially into the upstream groove edge and/or in a manner curved in or counter to a direction of rotation of the blade tip into the downstream groove flank. 5
5. Gas turbine compressor according to any of the preceding claims, **characterized in that** the web opens in an upstream and/or a downstream groove flank (31, 32) of the circumferential groove and/or has, in at least one meridian section, a cross-sectional area which is at least 70%, in particular at least 75%, of a cross-sectional area of the circumferential groove. 10
6. Gas turbine compressor according to any of the preceding claims, **characterized in that** the circumferential groove extends over the full circumference of the flow channel wall and/or forms an angle ( $\alpha$ ) of between 60° and 90° with the flow channel wall at the upstream groove edge in at least one meridian section. 15
7. Gas turbine compressor according to any of the preceding claims, **characterized in that** an axial distance between the upstream groove edge and the leading edge of the blade tip arranged downstream thereof is greater than the axial distance between the downstream groove edge and the leading edge of the blade tip arranged upstream thereof; and/or **in that** an axial distance between the upstream and the downstream groove edge is at least 25% of an axial distance between the upstream leading edge and the downstream trailing edge of the blade tip. 20
8. Gas turbine compressor according to any of the preceding claims, **characterized in that** the web is inclined, in at least one section which is perpendicular to an axis of rotation of the compressor, towards a groove base of the circumferential groove in the direction of rotation of the blade tip, in particular by at least 25° and/or at most 65° with respect to a radial direction; and/or **in that** at least three webs of the same or different types are arranged equidistantly or at different distances from one another in the circumferential groove in the circumferential direction. 25
9. Gas turbine compressor according to any of the preceding claims, **characterized in that** the blade tip is a radially outer blade tip (11) of a rotor blade (10), which is opposed radially on the outside by the flow channel wall, or a radially inner blade tip of a guide vane, which is opposed radially on the inside by the flow channel wall. 30
10. Gas turbine compressor according to any of the preceding claims, **characterized in that** an upstream groove flank (31) and/or a downstream groove flank (32) of the circumferential groove has an axial undercut, the cross-sectional area of which, in at least one meridian section, is less than 10% of a cross-sectional area of the circumferential groove between the upstream and downstream groove edges thereof. 35
11. Aircraft engine comprising a gas turbine compressor according to any of the preceding claims. 40
12. Method for designing a gas turbine compressor according to any of the preceding claims, **characterized in that** in at least one meridian section, an axial distance ( $L_{OL}$ ) between the upstream leading edge (11) of the blade tip and the downstream groove edge (22) is selected such that it is at least 5% and at most 40% of the chord length ( $S_{AX}$ ) between the upstream leading edge (11) and the downstream trailing edge (12) of the blade tip, and/or an axial distance ( $\Delta_{45}$ ) between the upstream leading edge (11) of the blade tip and a kink of a blade-tip-side upper edge (43) of the web in the recess is selected such that it is at most 10% of the chord length ( $S_{AX}$ ) between the upstream leading edge (11) and the downstream trailing edge (12) of the blade tip. 45
13. Method for designing a gas turbine compressor according to claim 12, **characterized in that** a radial distance ( $H_{KOZ}$ ) between the blade tip (10) and a blade-tip-side upper edge (43) of the web in the recess is selected such that it is at least 50% and/or at most 1500% of a radial distance ( $H_{GAP}$ ) between the blade tip (10) and the downstream groove edge (22) radially opposite thereto. 50

### Revendications

1. Compresseur de turbine à gaz, comportant au moins une pointe d'aube (10) qui présente un bord d'attaque amont (11) et un bord de fuite aval (12), et une paroi de canal d'écoulement (20) opposée radialement à cette pointe d'aube, paroi dans laquelle est disposée une rainure périphérique (31-33) qui présente un bord de rainure amont (21) et un bord de rainure aval (22),

au moins une nervure (40) étant disposée dans la rainure périphérique, laquelle nervure présente une découpe radiale (44) ;  
le bord d'attaque amont (11) de la pointe d'aube (10) étant disposé entre un début amont (41) de la découpe et le bord de rainure aval (22) dans la direction axiale dans au moins une section méridienne à travers le côté frontal, côté pointe d'aube, de la nervure,  
**caractérisé en ce que**, dans au moins la section méridienne à tra-

- vers un côté frontal, côté pointe d'aube, de la nervure, une distance axiale ( $L_{OL}$ ) entre le bord d'attaque amont (11) de la pointe d'aube et le bord de rainure aval (22) vaut au moins 5 % et au plus 40 % de la longueur de corde ( $S_{AX}$ ) entre le bord d'attaque amont (11) et le bord de fuite aval (12) de la pointe d'aube et/ou une distance axiale ( $\Delta_{45}$ ) entre le bord d'attaque amont (11) de la pointe d'aube et un coude (45) d'un bord supérieur (43), côté pointe d'aube, de la nervure dans la découpe vaut au plus 10 % de la longueur de corde ( $S_{AX}$ ) entre le bord d'attaque amont (11) et le bord de fuite aval (12) de la pointe d'aube.
2. Compresseur de turbine à gaz selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**une distance radiale ( $H_{KOZ}$ ) entre la pointe d'aube (10) et un bord supérieur (43), côté pointe d'aube, de la nervure dans la découpe vaut au moins 50 % et/ou au plus 1500 % d'une distance radiale ( $H_{GAP}$ ) entre la pointe d'aube (10) et le bord de rainure aval (22) opposé radialement à celle-ci.
  3. Compresseur de turbine à gaz selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le début amont (41) de la découpe est disposé axialement en aval du bord de rainure amont (21) entre ce bord de rainure et le bord d'attaque amont (11) de la pointe d'aube et/ou une extrémité aval (42) de la découpe est disposée dans une moitié (34) proche de la pointe d'aube d'une hauteur radiale (35) de la rainure périphérique.
  4. Compresseur de turbine à gaz selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, dans au moins une section méridienne, le bord supérieur (43), côté pointe d'aube, de la nervure présente, au niveau du bord de rainure amont, en particulier jusqu'au début de la découpe, une courbure continue ; **et/ou en ce qu'**un côté frontal (43), côté aube, de la nervure débouche, au moins sensiblement, axialement dans le bord de rainure amont et/ou de manière incurvée dans le flanc de rainure aval dans un sens de rotation de la pointe d'aube ou dans le sens opposé à celui-ci.
  5. Compresseur de turbine à gaz selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la nervure débouche dans un flanc de rainure (31, 32) amont et/ou aval de la rainure périphérique et/ou présente, dans au moins une section méridienne, une surface de section transversale qui vaut au moins 70 %, en particulier au moins 75 %, d'une surface de section transversale de la rainure périphérique.
  6. Compresseur de turbine à gaz selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la rainure périphérique s'étend sur toute la périphérie de la paroi de canal d'écoulement et/ou forme un angle ( $\alpha$ ) compris entre 60° et 90° avec la paroi de canal d'écoulement dans au moins une section méridienne au niveau du bord de rainure amont.
  7. Compresseur de turbine à gaz selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**une distance axiale entre le bord de rainure amont et le bord d'attaque, disposé en aval de celui-ci, de la pointe d'aube est supérieure à la distance axiale entre le bord de rainure aval et le bord d'attaque, disposé en amont de celui-ci, de la pointe d'aube ; **et/ou en ce qu'**une distance axiale entre le bord de rainure amont et le bord de rainure aval vaut au moins 25 % d'une distance axiale entre le bord d'attaque amont et le bord de fuite aval de la pointe d'aube.
  8. Compresseur de turbine à gaz selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la nervure est inclinée, dans au moins une section perpendiculaire à un axe de rotation du compresseur, vers un fond de rainure de la rainure périphérique dans le sens de rotation de la pointe d'aube, en particulier d'au moins 25° et/ou d'au plus 65° par rapport à une direction radiale ; **et/ou en ce qu'**au moins trois nervures identiques ou différentes sont disposées dans la rainure périphérique, de manière équidistante ou à des distances différentes les unes des autres dans la direction périphérique.
  9. Compresseur de turbine à gaz selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la pointe d'aube est une pointe d'aube (11) radialement extérieure d'une aube mobile (10) à laquelle la paroi de canal d'écoulement est opposée radialement vers l'extérieur, ou une pointe d'aube radialement interne d'une aube directrice à laquelle la paroi de canal d'écoulement est opposée radialement vers l'intérieur.
  10. Compresseur de turbine à gaz selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**un flanc de rainure amont (31) et/ou un flanc de rainure aval (32) de la rainure périphérique présentent une contre-dépouille axiale dont la surface de section transversale, dans au moins une section méridienne, est inférieure à 10 % d'une surface de section transversale de la rainure périphérique entre son bord de rainure amont et son bord de rainure aval.
  11. Moteur d'aéronef comportant un compresseur de turbine à gaz selon l'une des revendications précédentes.

12. Procédé destiné à la conception d'un compresseur de turbine à gaz selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, dans au moins une section méridienne, une distance axiale ( $L_{OL}$ ) entre le bord d'attaque amont (11) de la pointe d'aube et le bord de rainure aval (22) est sélectionnée de telle sorte qu'elle vaut au moins 5 % et au plus 40 % de la longueur de corde ( $S_{AX}$ ) entre le bord d'attaque amont (11) et le bord de fuite aval (12) de la pointe d'aube et/ou une distance axiale ( $\Delta_{45}$ ) entre le bord d'attaque amont (11) de la pointe d'aube et un coude d'un bord supérieur (43), côté pointe d'aube, de la nervure dans la découpe est sélectionnée de telle sorte qu'elle vaut au plus 10 % de la longueur de corde ( $S_{AX}$ ) entre le bord d'attaque amont (11) et le bord de fuite aval (12) de la pointe d'aube.
13. Procédé destiné à la conception d'un compresseur de turbine à gaz selon la revendication 12, **caractérisé en ce qu'**une distance radiale ( $H_{KOZ}$ ) entre la pointe d'aube (10) et un bord supérieur (43), côté pointe d'aube, de la nervure dans la découpe est sélectionnée de telle sorte qu'elle vaut au moins 50 % et/ou au plus 1500 % d'une distance radiale ( $H_{GAP}$ ) entre la pointe d'aube (10) et le bord de rainure aval (22) opposé radialement à celle-ci.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

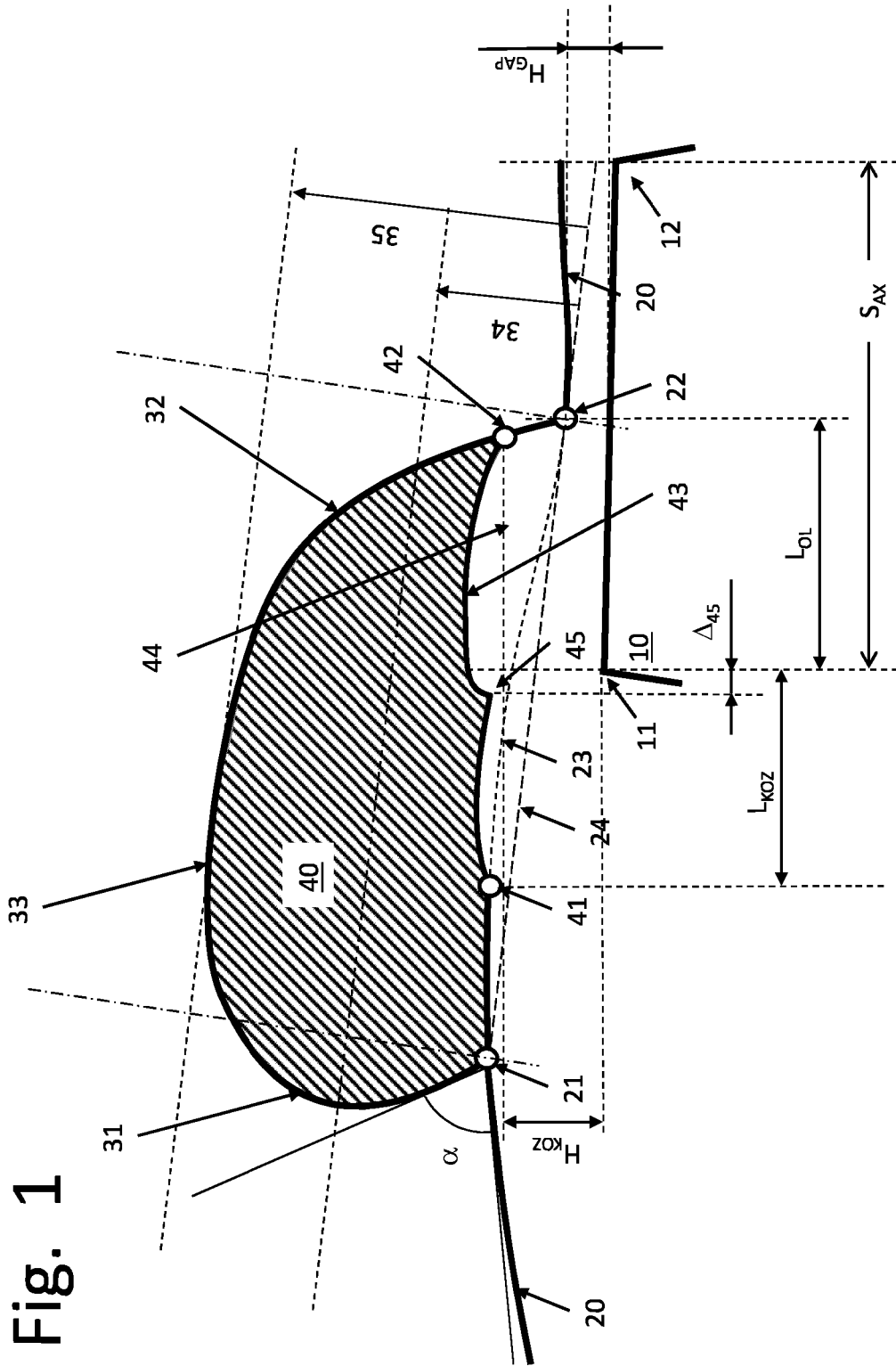


Fig. 1

**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**

- EP 2927503 A [0002]
- EP 2927503 A1 [0017] [0019]