

(19)



(11)

**EP 2 927 503 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**07.10.2015 Patentblatt 2015/41**

(51) Int Cl.:  
**F04D 29/32** (2006.01) **F04D 29/54** (2006.01)  
**F04D 29/68** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14163465.9**

(22) Anmeldetag: **03.04.2014**

(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**

(71) Anmelder: **MTU Aero Engines AG**  
**80995 München (DE)**

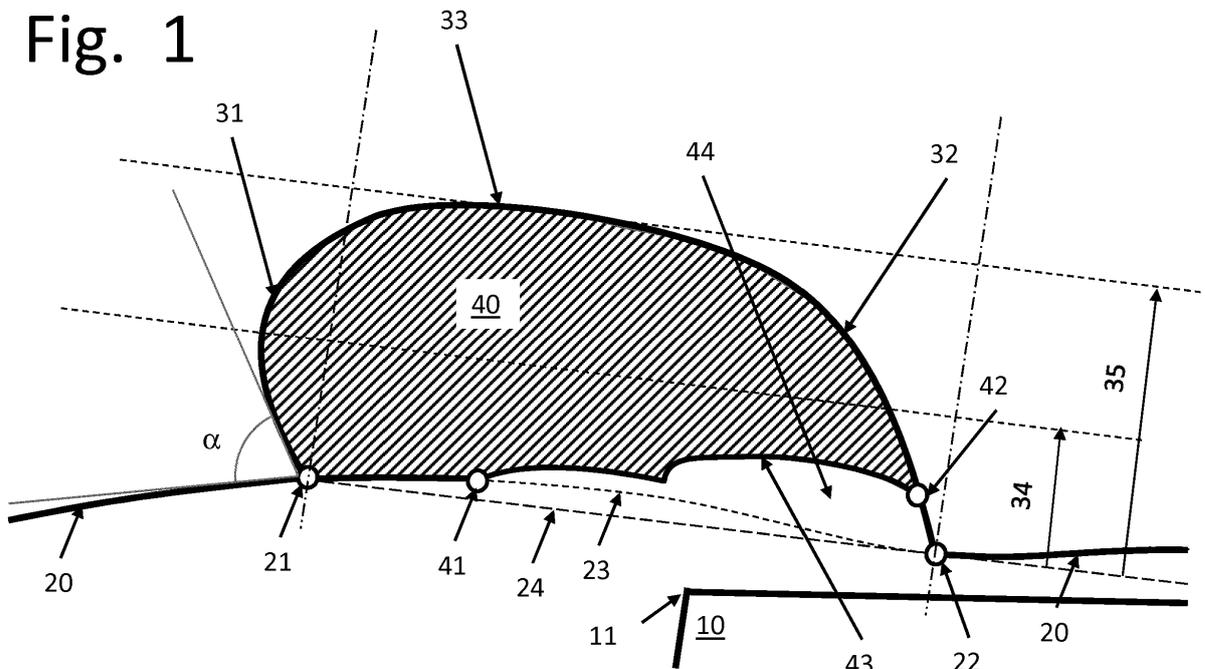
(72) Erfinder:  
• **Brignole, Giovanni**  
**80939 München (DE)**  
• **Mayenberger, Tobias**  
**80335 München (DE)**

(54) **Gasturbinenverdichter, Flugtriebwerk und Auslegungsverfahren**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft einen Gasturbinenverdichter, mit wenigstens einer Schaufelspitze (10) und einer dieser radial gegenüberliegenden Strömungskanalwandung (20), in der eine Umfangsnut (31-33) angeordnet ist, in der wenigstens ein Steg (40) angeordnet ist, der einen radialen Rückschnitt (44) aufweist, wobei ein stromaufwärtiger Anfang (41) des Rück-

schnitts axial stromabwärts von einer stromaufwärtigen Nutkante (21) zwischen dieser Nutkante und einer stromaufwärtigen Vorderkante (11) der Schaufelspitze und ein stromabwärtiges Ende (42) des Rückschnitts in einer schaufelspitzennäheren Hälfte (34) einer radialen Höhe (35) der Umfangsnut angeordnet ist.

**Fig. 1**



**EP 2 927 503 A1**

## 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 US 2010/0014956 A1 ist ein Gasturbinenverdichter mit einer Gehäusestrukturierung ("casing treatment" CT) bekannt. Dieses umfasst eine umlaufende oder unterbrochene Umfangsnut, die axial im Bereich einer umlaufenden Schaufelspitze angeordnet ist und in der Ablenkmittel in Form von Stegen angeordnet sind. In verschiedenen Ausführungsbeispielen weisen die Stege willkürliche radiale Rückschnitte auf.

**[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 15, 16 stellen ein Flugtriebwerk mit einem solchen Gasturbinenverdichter bzw. ein Verfahren zum Auslegen eines solchen 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 der Strömungskanalwandung ist eine Umfangsnut 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.

**[0008]** In einer Ausführung weist die stromaufwärtige

Nutflanke und/oder die stromabwärtige Nutflanke eine axiale Hinterschneidung auf, deren Querschnittsfläche in einem Meridianschnitt in einer Weiterbildung weniger als 10% einer Querschnittsfläche der Umfangsnut zwischen ihrer stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante beträgt.

**[0009]** 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.

**[0010]** 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.

**[0011]** 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 Umfangsrichtung paarweise unterschiedliche Abstände voneinander aufweisen.

**[0012]** 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 Strömungskanalkontur 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 Strömungskanalkontur entspricht und dazwischen linear interpoliert.

**[0013]** Nach einem Aspekt der vorliegenden Erfindung ist bzw. wird, insbesondere in einem oder mehreren, vorzugsweise allen, Meridianschnitten durch die schaufelspitzenseitige Stirnseite des Steges, ein stromaufwärtiger Anfang des Rückschnitts axial stromabwärts von der stromaufwärtigen Nutkante zwischen dieser Nutkante und der stromaufwärtigen Vorderkante der Schaufelspitze und ein stromabwärtiges Ende des Rückschnitts in einer schaufelspitzennäheren Hälfte einer radialen Höhe der Umfangsnut angeordnet.

**[0014]** Überraschenderweise hat sich herausgestellt, dass ein erfindungsgemäßer Rückschnitt, der stromabwärts nach der stromaufwärtigen Nutkante und stromaufwärts vor der stromaufwärtigen Vorderkante der Schaufelspitze beginnt und in der schaufelspitzennäheren Hälfte der Umfangsnut endet, in einer Ausführung die Vorteile der Gehäusestrukturierung im Nicht-Auslegungsbetrieb ("Off-Design"), wenigstens im Wesentlichen, beibehalten werden, während gleichzeitig im Auslegungsbetrieb bzw. unter Nennbetriebsbedingungen ungewollte Strömungsphänomene reduziert werden können.

**[0015]** Unter einem stromaufwärtigen Anfang des Rückschnitts wird in einer Ausführung diejenige Axialposition 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 abweicht. 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 Nutgrund hin um wenigstens 1%, insbesondere wenigstens 5% eines maximalen radialen Abstandes zwischen einer schaufelspitzennäheren Nutkante und dem Nutgrund abweicht.

**[0016]** Der stromaufwärtige Anfang des Rückschnitts ist nach dem vorstehenden Aspekt axial stromabwärts nach der stromaufwärtigen Nutkante und stromaufwärts vor der stromaufwärtigen Vorderkante der Schaufelspitze angeordnet. Bis zum Anfang des Rückschnitts setzt die schaufelseitige Stirnseite (bzw. in einem oder mehreren, vorzugsweise allen, Meridianschnitten durch die schaufelspitzenseitige Stirnseite des Steges die Oberkante) des Steges in einer Ausführung die Strömungskanalkontur mit stetiger Krümmung bzw. ohne sprunghafte Änderung der Krümmung fort.

**[0017]** Unter einem stromabwärtigen Ende des Rückschnitts wird entsprechend in einer Ausführung diejenige Axialposition verstanden, an der die schaufelseitige Stirnseite bzw. Oberkante des Steges wieder in die Referenzfläche bzw. -kurve oder in die stromabwärtige Nutflanke 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 weniger als 1% des maximalen radialen Abstandes zwischen der schaufelspitzennäheren Nutkante und dem Nutgrund abweicht.

**[0018]** Das stromabwärtige Ende des Rückschnitts ist nach dem vorstehenden Aspekt 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 Referenzfläche bzw. -kurve, insbesondere also ein maximaler Abstand zwischen dem Nutgrund und der schaufelspitzennäheren Nutkante, in radialer Richtung oder einer Richtung senkrecht zur Verbindungslinie der stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante verstanden, wobei auch ein solcher Abstand senkrecht zur Verbindungslinie verallgemeinernd als radiale Höhe der Umfangsnut bezeichnet wird.

**[0019]** In einer Ausführung endet der radiale Rückschnitt in der Referenzfläche bzw. -kurve, in einer Weiterbildung axial stromaufwärts vor oder stromabwärts hinter der stromaufwärtigen Vorderkante der Schaufelspitze. Bis zum Ende des Rückschnitts setzt die schaufelseitige Stirnseite (bzw. in einem oder mehreren, vorzugsweise allen, Meridianschnitten durch die schaufelspitzenseitige 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 stromaufwärts fort.

**[0020]** In einer anderen Ausführung endet der radiale Rückschnitt in der radial oberen Hälfte der stromabwärtigen Nutflanke, der Steg ist ab dem Anfang des Rückschnitts durchgehend radial rückgeschnitten. Als radial obere Hälfte wird verallgemeinernd der Teil der stromabwärtigen Nutflanke bezeichnet, der sich in radialer Richtung oder einer Richtung senkrecht zur Verbind-

dungslinie der stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante über 50% des maximalen Abstandes der stromabwärtigen Nutkante vom Nutgrund in dieser Richtung erstreckt.

**[0021]** 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.

**[0022]** 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 Strömungskanalwandung, d.h. an der stromaufwärtigen Nutkante eine stetige Krümmung aufweisen, und diese bis zum Anfang des Rückschnitts stetig fortsetzen.

**[0023]** 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. 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.

**[0024]** 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.

**[0025]** 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.

**[0026]** In einer Ausführung beträgt ein axialer Abstand

zwischen der stromaufwärtigen und der stromabwärtigen Nutkante wenigstens 25% eines axialen Abstands zwischen der stromaufwärtigen Vorderkante und einer stromabwärtigen Hinterkante der Schaufelspitze.

**[0027]** 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. 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.

**[0028]** Weitere vorteilhafte Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungen. Hierzu zeigt, teilweise schematisiert, die einzige:

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

**[0029]** 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.

**[0030]** 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.

**[0031]** 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.

**[0032]** 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 strichpunktiert angedeutet sind,

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

**[0033]** 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.

**[0034]** 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.

**[0035]** 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 Strömungskanalcontur 20 somit virtuell über die Umfangsnut hinweg fort.

**[0036]** Die Referenzkurven 23, 24 stellen jeweils eine sich in Umfangsrichtung erstreckende entsprechende Referenzfläche 23, 24 in dem Meridianschnitt der Fig. 1 durch eine schaufelspitzenseitige Stirnfläche bzw. Oberkante 43 des Steges 40 dar.

**[0037]** Wie im Meridianschnitt der Fig. 1 erkennbar, weicht die schaufelspitzenseitige 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 Strömungskanalcontur von der Schaufelspitze weg zum Nutgrund hin radial (nach oben in Fig. 1) ab.

**[0038]** Ab dem Punkt bzw. der Umfangslinie 41 weicht die schaufelseitigen Stirnseite bzw. Oberkante 43 zudem von der geraden Referenzfläche bzw. -kurve 24 zum Nutgrund hin um wenigstens 1% eines maximalen radialen Abstandes zwischen der schaufelspitzennäheren Nutkante 22 und dem Nutgrund 33 ab.

**[0039]** Der Punkt bzw. die Umfangslinie 41 definiert damit einen stromaufwärtigen Anfang eines radialen Rückschnitts 44 des Steges.

**[0040]** Bis zu diesem Anfang 41 des Rückschnitts 44 setzt die schaufelseitige Stirnseite bzw. Oberkante des Steges die Strömungskanalcontur 20 mit stetiger Krümmung fort.

**[0041]** Der Punkt bzw. die Umfangslinie 42 definiert ein stromabwärtiges Ende des radialen Rückschnitts 44, an dem bzw. der die schaufelseitige Stirnseite bzw. Oberkante 43 des Steges in die stromabwärtige Nutflanke 32 mündet.

**[0042]** In einer nicht dargestellten Abwandlung mündet

die schaufelseitige Stirnseite bzw. Oberkante 43 des Steges hingegen wieder in die Referenzfläche bzw. -kurve 23. Dann stellt der Punkt bzw. die Umfangslinie, an dem bzw. der die schaufelseitige 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 schaufelseitige 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 schaufelspitzennäheren Nutkante 22 und dem Nutgrund 33 abweicht, das stromabwärtigen Ende des radialen Rückschnitts dar.

**[0043]** In dieser nicht dargestellten Abwandlung kann die schaufelseitige Stirnseite bzw. Oberkante des Steges die Strömungskanalcontur 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.

**[0044]** Der Leerraum bzw. die freie Fläche zwischen der schaufelseitigen 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.

**[0045]** 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 schaufelspitzennäheren Hälfte 34 einer radialen Höhe 35 der Umfangsnut angeordnet.

**[0046]** Dabei kann als radiale Höhe der maximale Abstand zwischen dem Nutgrund 33 und der schaufelspitzennäheren 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 schaufelspitzennäheren Nutkante 22 in einer Richtung senkrecht zur geraden Verbindungslinie 24 der stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante definiert sein.

**[0047]** 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.

**[0048]** 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.

**[0049]** 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.

**[0050]** 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.

**[0051]** 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.

**[0052]** 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.

**[0053]** 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 (nicht dargestellt) der Schaufelspitze 10.

**[0054]** 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 und diesen äquivalenten Merkmalskombinationen ergibt.

Bezugszeichenliste

**[0055]**

10 Schaufelspitze  
 11 Vorderkante  
 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  
 5 35 radiale Höhe der Umfangsnut  
 40 Steg  
 41 stromaufwärtiger Anfang des Rückschnitts  
 42 stromabwärtiges Ende des Rückschnitts  
 43 schaufelspitzenseitige Stirnseite/Oberkante  
 10 44 Rückschnitt  
 $\alpha$  Winkel

#### Patentansprüche

- 15
1. Gasturbinenverdichter, mit wenigstens einer Schaufelspitze (10) und einer dieser radial gegenüberliegenden Strömungskanalwandung (20), in der eine Umfangsnut (31-33) angeordnet ist, in der wenigstens ein Steg (40) angeordnet ist, der einen radialen Rückschnitt (44) aufweist;  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
 ein stromaufwärtiger Anfang (41) des Rückschnitts axial stromabwärts von einer stromaufwärtigen Nutkante (21) zwischen dieser Nutkante und einer stromaufwärtigen Vorderkante (11) der Schaufelspitze und ein stromabwärtiges Ende (42) des Rückschnitts in einer schaufelspitzennäheren Hälfte (34) einer radialen Höhe (35) der Umfangsnut angeordnet ist.
  2. Gasturbinenverdichter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Steg in einer stromaufwärtigen und/oder einer stromabwärtigen Nutflanke (31, 32) der Umfangsnut mündet.
  3. Gasturbinenverdichter nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** in wenigstens einem Meridianschnitt eine schaufelspitzenseitige Oberkante (43) des Stegs an der stromaufwärtigen Nutkante, insbesondere bis zum Anfang des Rückschnitts, eine stetige Krümmung aufweist.
  4. Gasturbinenverdichter nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, 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 wenigstens einem Meridianschnitt eine Querschnittsfläche aufweist, die wenigstens 70%, insbesondere wenigstens 75%, einer Querschnittsfläche der Umfangsnut beträgt.
- 50

6. Gasturbinenverdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umfangsnut sich über den vollen Umfang der Strömungskanalwandung erstreckt. 5
7. Gasturbinenverdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Umfangsnut in wenigstens einem Meridianschnitt an der stromaufwärtigen Nutkante mit der Strömungskanalwandung einen Winkel ( $\alpha$ ) einschließt, der zwischen  $60^\circ$  und  $90^\circ$  beträgt. 10
8. 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 ein axialer Abstand zwischen der stromabwärtigen Nutkante und der hiervon stromaufwärts angeordneten Vorderkante der Schaufelspitze. 15 20
9. Gasturbinenverdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein axialer Abstand zwischen der stromaufwärtigen und der stromabwärtigen Nutkante wenigstens 25% eines axialen Abstands zwischen der stromaufwärtigen Vorderkante und einer stromabwärtigen Hinterkante der Schaufelspitze beträgt. 25
10. 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  $25^\circ$  und/oder höchstens  $65^\circ$  gegen eine radiale Richtung. 30 35
11. Gasturbinenverdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Umfangsnut wenigstens drei gleich- oder verschiedenartige Stege in Umfangsrichtung äquidistant oder mit unterschiedlichen Abständen voneinander angeordnet sind. 40 45
12. Gasturbinenverdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schaufelspitze eine radial äußere Schaufelspitze (11) einer Laufschaufel (10) ist, der die Strömungskanalwandung radial außen gegenüberliegt. 50
13. Gasturbinenverdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schaufelspitze eine radial innere Schaufelspitze einer Leitschaufel ist, der die Strömungskanalwandung radial innen gegenüberliegt. 55
14. Gasturbinenverdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine stromaufwärtige Nutflanke (31) und/oder eine stromabwärtige Nutflanke (32) der Umfangsnut eine axiale Hinterschneidung aufweisen, deren Querschnittsfläche in einem Meridianschnitt weniger als 10% einer Querschnittsfläche der Umfangsnut zwischen ihrer stromaufwärtigen und stromabwärtigen Nutkante beträgt.
15. Flugtriebwerk mit einem Gasturbinenverdichter nach einem der vorhergehenden Ansprüche.
16. Verfahren zum Auslegen eines Gasturbinenverdichters nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein stromaufwärtiger Anfang (41) des Rückschnitts axial stromabwärts von einer stromaufwärtigen Nutkante (21) zwischen dieser Nutkante und einer stromaufwärtigen Vorderkante (11) der Schaufelspitze und ein stromabwärtiges Ende (42) des Rückschnitts in einer schaufelspitzennäheren Hälfte (34) einer radialen Höhe (35) der Umfangsnut angeordnet wird.





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 14 16 3465

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	WO 2004/018844 A1 (MTU AERO ENGINES GMBH [DE]; SEITZ PETER A [DE]) 4. März 2004 (2004-03-04) * Abbildung 2 * * Abbildung 3 * * Abbildung 5 * * Seite 6, Zeile 19 - Zeile 20; Abbildung 5 * * Seite 7, Zeile 23 - Zeile 28 * -----	1-16	INV. F04D29/32 F04D29/54 F04D29/68
X	WO 03/072910 A1 (MTU AERO ENGINES GMBH [DE]; SEITZ PETER [DE]) 4. September 2003 (2003-09-04) * Abbildung 2 * * Abbildung 3 * * Abbildung 6 * * Seite 6, Zeile 4 - Zeile 11 * -----	1-16	
X	US 6 290 458 B1 (IRIE KOUICHI [JP] ET AL) 18. September 2001 (2001-09-18)  * Abbildung 5 * * Spalte 9, Zeile 37 - Zeile 53 * -----	1,2,4-6, 8-12,15, 16	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)  F04D F01D
X,D	US 2010/014956 A1 (GUEMMER VOLKER [DE]) 21. Januar 2010 (2010-01-21) * Abbildung 8a * * Abbildung 8e * * Absatz [0103] * * Absatz [0107] * -----	1-16	
A	GB 2 408 546 A (ROLLS ROYCE PLC [GB]) 1. Juni 2005 (2005-06-01) * das ganze Dokument * -----	1-16	
A	FR 2 989 743 A1 (SNECMA [FR]) 25. Oktober 2013 (2013-10-25) * das ganze Dokument * -----	1-16	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>Den Haag</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>19. September 2014</b>	Prüfer <b>de Verbigier, L</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : 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  
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 14 16 3465

5

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

19-09-2014

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2004018844 A1	04-03-2004	AT 325939 T	15-06-2006
		CA 2496543 A1	04-03-2004
		CN 1678816 A	05-10-2005
		EP 1530670 A1	18-05-2005
		JP 4205099 B2	07-01-2009
		JP 2005536687 A	02-12-2005
		RU 2296247 C2	27-03-2007
		US 2005019152 A1	27-01-2005
		WO 2004018844 A1	04-03-2004
WO 03072910 A1	04-09-2003	AT 348943 T	15-01-2007
		AU 2003222718 A1	09-09-2003
		CA 2495186 A1	04-09-2003
		CN 1646790 A	27-07-2005
		DE 10390754 D2	12-05-2005
		EP 1478828 A1	24-11-2004
		JP 4527403 B2	18-08-2010
		JP 2006505730 A	16-02-2006
		RU 2293221 C2	10-02-2007
		US 2004156714 A1	12-08-2004
WO 03072910 A1	04-09-2003		
US 6290458 B1	18-09-2001	US 6290458 B1	18-09-2001
		US 2002004002 A1	10-01-2002
		US 2002182069 A1	05-12-2002
US 2010014956 A1	21-01-2010	DE 102008031982 A1	14-01-2010
		EP 2143956 A2	13-01-2010
		US 2010014956 A1	21-01-2010
GB 2408546 A	01-06-2005	GB 2408546 A	01-06-2005
		GB 2418956 A	12-04-2006
		US 2005111968 A1	26-05-2005
FR 2989743 A1	25-10-2013	KEINE	

EPO FORM P0461

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

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- US 20100014956 A1 [0002]