

(19)



(11)

EP 4 400 694 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
17.07.2024 Patentblatt 2024/29

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F01D 5/14 ^(2006.01) **F01D 5/28** ^(2006.01)
F01D 5/34 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23216827.8**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F01D 5/34; F01D 5/141; F01D 5/147; F01D 5/286;
F05D 2230/53; F05D 2240/80; F05D 2250/712;
F05D 2260/941

(22) Anmeldetag: **14.12.2023**

(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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

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

(72) Erfinder:
• **Hanschke, Benjamin**
80995 München (DE)
• **Linke, Benjamin**
80995 München (DE)
• **Stettner, Axel**
80995 München (DE)

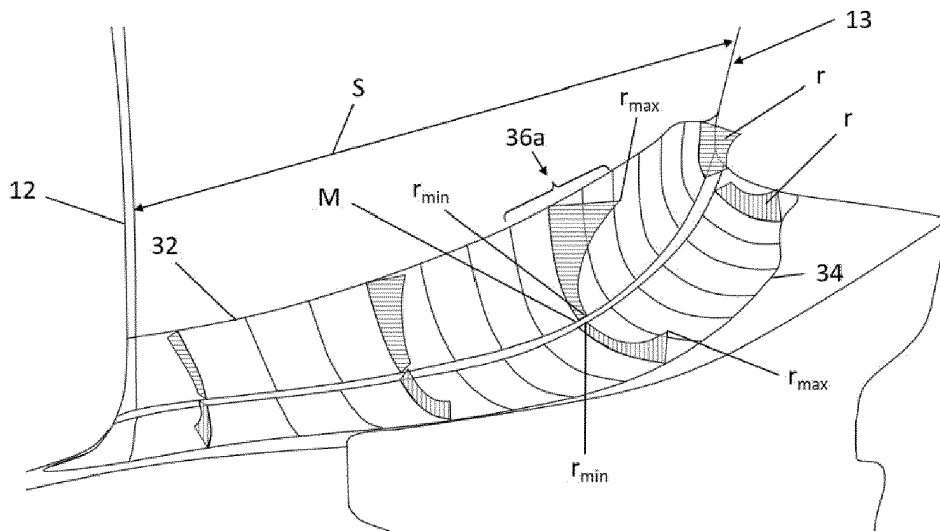
(30) Priorität: **12.01.2023 DE 102023100651**

(54) **BLISK**

(57) Die Erfindung betrifft eine Schaufel-Plattform-Verbindung (3) und eine Verdichterblisk (2) in einer Gasturbine (1), umfassend eine Schaufel (10), mit einem Schaufelblatt (11) und einem Schaufelfuß (14), eine Plattform (20), insbesondere eine Rotornabenplattform, wobei die Schaufel (10) an der Plattform (20) integral befestigt ist, einem Fillet (30) an dem Schaufelfuß (14) und zwischen dem Schaufelblatt (11) und der Plattform (20), wobei sich das Fillet (30) mit einer Längserstreckung (L) um den Schaufelfuß (14) und einer Quererstreckung (Q) von der Plattform (20) zu dem Schaufel-

blatt (11) erstreckt, wobei das Fillet (30) entlang der Quererstreckung (Q) einen variablen Radius (r) aufweist. Eine solche Schaufel-Plattform-Verbindung (3) ist erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, dass der variable Radius (r) zumindest in einem ersten Abschnitt (36a) des Fillets (30) einen minimalen Radius (r_{min}) aufweist, der entlang der Quererstreckung (Q) des Fillets zu der Plattform mindestens 30% der Quererstreckung (Q) beabstandet ist. Dadurch wird das Sicherheitsverhalten bei Schadenseinwirkung oder extremer Belastung verbessert.

Fig. 2b

**EP 4 400 694 A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Blisk für eine Gasturbine, umfassend zumindest eine Schaufel, mit einem Schaufelblatt und einem Schaufelfuß, eine Plattform, insbesondere eine Rotorplattform, wobei die Schaufel an der Plattform integral befestigt ist, einem Fillet an dem Schaufelfuß und zwischen dem Schaufelblatt und der Plattform, wobei sich das Fillet mit einer Längserstreckung um den Schaufelfuß und einer Quererstreckung von der Plattform zu dem Schaufelblatt erstreckt, wobei das Fillet entlang der Quererstreckung einen variablen Radius aufweist.

[0002] Rotorschaukeln in Strömungsmaschinen unterliegen hohen mechanischen Lasten, die insbesondere durch Fliehkräfte, Schwingungen und Thermalgradienten hervorgerufen werden. Bei lokaler Überbeanspruchung können Risse im Material der Schaukeln auftreten, die unter Einfluss der mechanischen und thermischen Spannungen in das Bauteil wachsen. Insbesondere bei integral beschaukelten Rotoren, beispielsweise bei Blisks (bladed disk) oder Blings (bladed ring) bestehen Schaukeln und Scheibe beziehungsweise Ring aus einem integralen oder monolithischen Bauteil. Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass Fremdkörper in das Triebwerk eintreten können und bei einem Auftreffen auf die Schaukeln an diesen Schaden und insbesondere Risse verursachen können. Vor allem aufgrund der Kombination dieser Umstände können Risse von den Schaukeln in den Scheiben- oder Ringkörper wandern und unter Umständen sogar ein Versagen des gesamten Bauteils herbeiführen. Dieses Risswachstum ist nicht erwünscht.

[0003] Um diesem Versagen zu begegnen sind beispielsweise aus der EP 3 473 431 A1 sogenannte Doppelfillets bekannt, die zwei konkave Bereiche mit einem dazwischen liegenden Podest verbinden, so dass das Risswachstum von der Rotorscheibe weg und in die Schaufel stattfindet. Diese Filletform ist nicht für alle Einsatzzwecke geeignet. Beispielsweise können Randbedingungen aufgrund aerodynamischer Überlegungen den Einsatz derartiger Fillets verhindern.

[0004] Konkave Fillets mit variablem Radienverlauf sind bereits aus der EP 4 019 741 A1 bekannt. Die dort gezeigten Schaufelblätter sind Teil von Turbinenschaukeln mit einem äußeren und einem Inneren Deckband, wobei ein das Schaufelblatt und das innere Deckband verbindende innere Fillet einen minimalen Radius in einem plattformnahen Bereich einer Quererstreckung des Fillets aufweist. Ferner weisen die Schaukeln einen Wurzelbereich auf, der zur Verbindung mit einer Rotorscheibe dient. Nach außen hin nimmt der Radius im Wesentlichen bis zu einem Maximalwert zu und nimmt dann wieder ab, wobei Maximalwerte des Radienverlaufs in der Nähe des Schaufelblatts, aber von dem Schaufelblatt beabstandet angeordnet ist. Die so gestalteten Fillets verringern eine Belastung der Schaufelblätter, nicht aber der Verbindung der Schaufel mit der Plattform.

[0005] Rotoren und/oder Blisks sind auf einer Trieb-

werkswelle angeordnet, mit der sie um eine Triebwerksachse rotieren. Zur Beschreibung der in den Triebwerken vorkommenden Geometrien sind daher drei Hauptachsen definiert. Die erste Hauptachse verläuft in Richtung der Triebwerksdrehachse und wird auch als Längsachse bezeichnet, die in Axialrichtung verläuft. Durch die erste Hauptachse wird ein Vorne und ein Hinten der jeweils betrachteten Geometrie festgelegt, wobei vorne der Eintritt und hinten der Austritt des Strömungsgases erfolgt. Die zweite Achse verläuft entlang einer auf der Triebwerksdrehachse senkrecht stehenden Richtung und wird auch als Radialachse bezeichnet, die in Radialrichtung verläuft. Durch die zweite Hauptachse wird ein Außen und ein Innen des Triebwerks bestimmt, wobei innen die Triebwerksachse liegt und die Radialrichtung von der Triebwerksachse nach außen verläuft. Die dritte Hauptachse verläuft in Umfangsrichtung senkrecht zu den beiden anderen Hauptachsen und verbindet die durch die ersten beiden Hauptachsen gebildeten Meridianschnitte. Die drei Hauptachsen bestimmen zusammen drei Hauptebenen: Meridianebenen, die von der Längsachse und jeweils einer Radialachse aufgespannt sind; Umfangsebenen, die auf einer Zylindermantelfläche um die Drehachse liegen; und Querschnittebenen des Triebwerks, die normal zu der Triebwerksdrehachse angeordnet sind.

[0006] Schaukeln mit komplexer räumlicher Geometrie werden normalerweise durch übereinander gestapelte Schaufelprofile beschrieben, deren Profilflächenerstreckungen nicht zwingend in nur einer Umfangsebene liegen müssen, sondern als geschwungen ausgeführte Schaufelprofile auch die anderen Hauptebenen schneiden können. Diese Gestaltung ist hauptsächlich der aerodynamischen Konstruktion der Schaukeln und der Vorgaben an den Hauptströmungskanal, dessen Ränder, insbesondere das Innendeckband, nicht achsparallel zur Hauptachse verlaufen müssen, geschuldet. Die endgültige Form, insbesondere im Naben- beziehungsweise Deckbandbereich, weicht zusätzlich aus strukturellen Gründen von diesem aerodynamisch optimierten, insbesondere idealen, Schaufelprofil ab; in den meisten Fällen sind in diesem Deckbandbereich sogenannte Fillets angeordnet. Die geometrischen Schwerpunkte der aerodynamisch optimierten Schaufelprofile bilden eine Stapellinie, wobei die Stapellinie ein Maß für die Neigung (engl. "pitch") der Schaufel darstellt.

[0007] Schaufelprofile werden ferner durch eine von der Vorderkante zu der Hinterkante des Schaufelprofils verlaufende Skelettlinie (engl. "camber line"), sowie durch die das Schaufelprofil umlaufenden und typischerweise eine Tropfenform mit Saug- und Druckseite bildenden Randlinien an der Schaufeloberfläche beschrieben.

[0008] Die Skelettlinie ist die Profilmittellinie von der Vorderkante zu der Hinterkante der Schaufel und entspricht einer Verbindungslinie durch alle Mittelpunkte von in das Schaufelprofil einbeschriebenen Kreisen. Diese Verbindungslinie kann in einfachster Näherung durch aneinandergereihte Geraden, aber auch durch Splines

oder andere polynomiale Kurven durch die Mittelpunkte, beschrieben werden. Bei einer axialen Unterteilung der Schaufel in hundert Teile und mehr, beispielsweise durch hundert axial äquidistant zu einander beabstandete einschreibende Kreise und entsprechende Verbindung der Kreismittelpunkte durch Geraden, ist eine hinreichende Genauigkeit für den Verlauf der Skelettlinie erreicht, die einen zumindest ersten Anhaltspunkt bei der Bestimmung der geometrischen Lagen der beteiligten Punkte dienen kann.

[0009] Vorder- und Hinterkante können ebenfalls durch Kreisabschnitte gebildet werden, da man in Strömungsmaschinen und gerade in den Hauptgaskanälen dieser Strömungsmaschinen scharfe Kanten vermeiden möchte. Nachfolgend sollen Vorderkante und Hinterkante aber auf eine Linie, das heißt eine Aneinanderreihung von Punkten auf der Oberfläche der Schaufel reduziert sein. Um einen Punkt dieser Vorderkantenlinie beziehungsweise Hinterkantenlinie auf einem Profil als Vorderkantenpunkt beziehungsweise als Hinterkantenpunkt festzulegen, dient folgendes Verfahren. Es lassen sich einschreibende Kreise bis an die Vorderbeziehungsweise Hinterkante der Schaufeln legen. An der Vorderkante und an der Hinterkante verläuft die Skelettlinie von dem Vorderkantenkreismittelpunkt bzw. von dem Hinterkantenkreismittelpunkt gerade in Richtung auf die Vorder- bzw. Hinterkante zu. In guter Näherung entspricht diese Richtung der Richtung der Verbindungslinie des vorletzten zum letzten Kreismittelpunkt der jeweiligen einschreibenden Kreise, weil in diesem Bereich mit einem stetigen und konvergierenden Verlauf der Skelettlinie zu rechnen ist, wenn die Kreismittelpunkte ausreichend nahe beieinander liegen, das heißt wenn die Staffelung der betrachteten Geometriepunkt ausreichend fein ist. Diese Definition dient zur Bestimmung der Vorder- und Hinterkante insbesondere bei unbekannter Schaufelgeometrie, das heißt nicht aus der Konstruktion vorliegenden Daten zu der Schaufelgeometrie. Eine von der Vorderkante zu der Hinterkante aufgespannte gerade Linie wird als Schaufelsehne (engl. "chord") bezeichnet. Wenn nicht anders angegeben, sind Angaben, die auf die Sehnenlänge bezogen sind, als auf die Sehnenlänge projizierte Oberflächenpunkte der darüber- oder darunterliegenden Struktur in beziehungsweise entgegen der Umfangsrichtung zu verstehen.

[0010] Es wird zur Bestimmung der quantitativen Größen als hinreichend approximiert angesehen, wenn die Lage der zu bestimmenden Punkte der entsprechenden Schaufelgröße (axiale Erstreckung, radiale Erstreckung, Umfangserstreckung) zumindest auf ein Zwanzigstel der Ausdehnung der Schaufel in der entsprechenden Raumrichtung genau bestimmt werden kann. Wenn es Anhaltspunkte dafür gibt, dass eine feinere Staffelung nötig wäre oder betrachtete Geometrien sehr eng an dieser Beschreibung und in den Ansprüchen genannte Werte heranreichen, sollte diese Approximation entsprechend verfeinert werden.

[0011] Als maximale Profildicke eines Profils wird der

größtmögliche Kreisdurchmesser eines Kreises zwischen Profilsaugseite und Profildruckseite bezeichnet, wobei der Mittelpunkt dieses größten Kreises auf der Skelettlinie angeordnet ist. Eine Anbindungsfläche zu einer Rotornabe bzw. zu einem Rotordeckband wird als Schaufelfuß bezeichnet.

[0012] Da man bemüht ist, Verwirbelungen und damit Verluste in Triebwerken möglichst gering zu halten und ungewollte Spannungen im Material der Schaufeln und der Plattform der Scheibe, die auch als Nabe, Rotornabe, Deckband oder Innendeckband bezeichnet wird, zu vermeiden oder zu verteilen, so dass die ungewollten Spannungen unschädlich sind, werden die Übergänge von der Schaufel zu der Plattform im Bereich des Schaufelfußes durch das Vorsehen eines Fillets möglichst stetig ausgestaltet. Dadurch entstehen von dem aerodynamisch idealen beziehungsweise optimierten Schaufelprofil abweichende Geometrien, so dass die genaue Lage der Vorder- und Hinterkante durch das oben beschriebene Vorgehen möglicherweise nicht mehr eindeutig bestimmt werden kann, denn die Kreisformen der Schaufelenden an der Vorderkante und an der Hinterkante werden durch das Vorhandensein eines Fillets, also einer von einer aerodynamisch optimierten Form abweichenden Form der Schaufel, aufgelöst. Erschwerend kommt hinzu, dass die bei der Konstruktion berechneten Schaufelprofile nicht entlang einer zylindrischen Umfangsebene definiert sind, sondern diese schneiden können. Ferner kann im Bereich des Schaufelfußes die Plattform- beziehungsweise Naben- oder Deckbandkonturierung (engl. "endwall contouring") des Rotorgrundkörpers an die Strömung angepasst sein, was wiederum erschwerend für das Auffinden des Beginns des Fillets ist.

[0013] Bei der Bestimmung der Größen einer solchen zu vermessenden Schaufel, insbesondere einer Anbindungsstruktur wie ein Fillet, können die Oberflächen der Schaufel und der Plattform sowie des Übergangs, dem Fillet, zwischen Schaufel und Plattform beispielsweise optisch vermessen werden. Die genaue Lage der Vorder- und Hinterkante, der genaue Anbindungsbereich von dem aerodynamisch idealen Profil auf ein Fillet und der Anbindungsbereich von dem Fillet auf die Plattform der Rotorscheibe sind dennoch nur schwer zu bestimmen. Innen liegende Größen sind in der Regel nicht bekannt und die Übergänge an der Oberfläche von dem Schaufelblatt auf das Fillet, was im Folgenden als Schaufelverbindung bezeichnet wird, und weiter auf die Plattform der Blisk- beziehungsweise Rotorscheibe, was im Folgenden als Plattformverbindung bezeichnet wird, sind aufgrund der aerodynamischen Form der Schaufel in der Regel stetig. Das heißt ein genauer Übergangspunkt ohne Kenntnisse der Strömung und dem Auslegungspunkt der Schaufeln ist ebenfalls nur schwer genau zu bestimmen.

[0014] Um ein Bestimmen der quantitativen Größen von zu vermessenden Schaufeln bei Unkenntnis der aerodynamischen Verhältnisse und der konstruktiven Überlegungen zunächst hinreichend in guter Näherung zu ermöglichen, werden Schnitte durch die Schaufel he-

rangezogen, die in einer der Hauptebenen liegen, wobei eine Staffelung der Abstände zur näherungsweisen Bestimmung der betrachteten Geometrien entlang der drei Hauptachsen jeweils mindestens um ein Hundertstel von der größten Längserstreckung der Schaufel, der größten Radialerstreckung der Schaufel und der größten Umfangserstreckung der Schaufel erfolgt. Mit anderen Worten wird ein Gitter (analog zu einem Gitter bei einer Finiten Elemente Methode, abgekürzt FEM) mit einer Feinheit von in jeweils mindestens zwanzig Schritten in allen drei Hauptrichtungen, nämlich zwischen dem vordersten und hintersten Punkt der Schaufel, den am weitesten innen und außen liegenden Punkten der Schaufel sowie zwischen den in Umfangsrichtung am weitesten auseinander liegenden Punkten der Schaufel gelegt.

[0015] Die größten Umfangs- und Axialerstreckungen der Schaufel sind an der Plattform zu erwarten, weil dort der Anbindungsbereich, das Fillet, von dem Schaufelfuß zu dem Rotorgrundkörper erfolgt und der Schaufelfuß die größte Ausdehnung aufweist.

[0016] Um den axialen Beginn und das axiale Ende, also die Anbindungspunkte, des Fillet in axialer Richtung zu bestimmen, ist die Kontur der Oberfläche im Bereich der Plattform zu betrachten. Liegt in beziehungsweise entgegen der axialen Richtung an den Anbindungsbereich angrenzend eine Vertiefung der Plattform vor, so wird der Anbindungspunkt des Fillets auf die Plattform ein Wendepunkt der Oberfläche sein. Liegt in beziehungsweise entgegen der axialen Richtung eine Erhöhung der Plattform vor, so wird der Anbindungspunkt ein minimaler radialer Abstand der Oberfläche zu der Rotor-drehachse sein. Liegt in der betrachteten Ebene eine Erstreckung mit einem geraden Verlauf der Plattform vor, so wird der Anbindungspunkt durch einen Beginn einer Krümmung definiert.

[0017] Um den Umfangsbeginn oder das Umfangsende des Fillets in Umfangsrichtung zu bestimmen, ist die Kontur der Oberfläche im Bereich der Plattform zu betrachten. Ein Übergang von der Oberfläche der Plattform auf eine Anbindungsstruktur, beispielsweise ein Fillet, kann in einem Bereich erwartet werden, in dem sich die Krümmung der Oberfläche ändert. Liegt in beziehungsweise entgegen der Umfangsrichtung an den zu erwartenden Bereich, in dem sich der Übergang befinden soll, angrenzend eine Vertiefung vor, so wird der Übergangspunkt des Fillets auf die Plattform ein Wendepunkt der Oberfläche sein. Liegt in beziehungsweise entgegen der Umfangsrichtung eine Erhöhung der Plattform vor, so wird der Übergangspunkt ein minimaler radialer Abstand der Oberfläche zu der Rotorachse sein. Liegt in der betrachteten Ebene eine Erstreckung der Plattform mit einem geraden Verlauf vor, so wird der Übergangspunkt durch einen Beginn einer Krümmung definiert.

[0018] Der axiale Beginn und das axiale Ende des Fillets sowie der Umfangsbeginn und das Umfangsende des Fillets sind Punkte, die jeweils einen radialen Abstand zu der Drehachse der Strömungsmaschine aufweisen. Über denjenigen dieser Punkte mit dem geringsten

radialen Abstand lässt sich eine Umfangsebene als Zylindermantelfläche definieren, die im Folgenden ein Hilfsdeckband der Plattform definiert und als Anknüpfungspunkt für die Ermittlung der radialen Erstreckung der Schaufel, so auch der maximalen radialen Erstreckung, in erster Näherung dient.

[0019] Die größte radiale Erstreckung des Schaufelblatts lässt sich dann hilfsweise durch Bilden eines weiteren Zylinders um die Triebwerksdrehachse bilden, dessen Mantelfläche nur einen einzigen, nämlich den äußersten Punkt der Schaufel schneidet.

[0020] Aus diesen maximalen Erstreckungen lassen sich die Staffelungen oder Gitter für die Bestimmung sämtlicher Größen der Schaufel wie oben angegeben herleiten, insbesondere Gitter deren Kantenlängen jeweils ein Zwanzigstel oder weniger von der maximalen Längs-, Radial- und Umfangserstreckung der Schaufel betragen. Die Feinheit der Gitter sollte von den betrachteten Größen abhängen, um mit ausreichender Sicherheit einen Vergleich mit den Größen herstellen zu können.

[0021] Um einen Anbindungspunkt von dem Schaufelblatt auf eine Anbindungsstruktur, zum Beispiel einem Fillet, des Schaufelblatts auf die Plattform bei unbekannten Strömungsverhältnissen oder ohne Kenntnis der zugrundeliegenden strukturellen Überlegungen zu bestimmen, wird die Schaufel wie oben beschrieben in eine Gitterunterteilung der Meridianebenen, der Querschnittsebenen sowie der Umfangsebenen eingeteilt. Es werden dann für die Bestimmung der Anbindungspunkte von Schaufelblatt zu der Anbindungsstruktur in erster Näherung diejenigen Punkte der Schaufeloberfläche in dem Bereich, in dem der Beginn der Anbindungsstruktur zu erwarten ist, bestimmt, die gegenüber zumindest einem entlang der Oberfläche betrachtet radial äußeren und inneren Nachbarpunkten eine größere Krümmungsänderung aufweisen. Für die Bestimmung der Anbindungspunkte von der Anbindungsstruktur auf die Plattform wird analog verfahren, wobei hier sowohl die in axialer Richtung als auch in Umfangsrichtung benachbarten Punkte auf der Oberfläche der Schaufel beziehungsweise der Plattform zum Vergleich der Krümmungsänderung herangezogen werden. Nach Bestimmung der Anbindungsbereiche sollten nunmehr die vermessenen Oberflächen sowie Anfang und Ende der Anbindungsstruktur in radialer Richtung bekannt sein. In der jeweiligen Umfangsebene der Vorderkante und der Hinterkante kann eine Erweiterungslinie, die auch als Extrusionslinie bezeichnet werden kann, der zur Bestimmung der Vorderkante beziehungsweise Hinterkante herangezogenen Geraden erzeugt werden. Von dieser Erweiterungslinie kann auf die Anbindungsstruktur bis zum Schaufelfuß eine Linie in radialer Richtung projiziert werden, die im Folgenden auf der Anbindungsstruktur als Vorderkante beziehungsweise Hinterkante dienen soll. In den Fällen, in denen die Schaufeln und deren Anbindungsstrukturen aufgrund einer geometrischen Begrenzung der Scheibe in axialer Richtung durchschnitten

sind, kann es zwei Vorderkanten oder Hinterkanten in diesem Bereich geben, von denen an die entsprechenden anderen Größen zur Beschreibung der Anbindungsstruktur zu bestimmen sind. Entlang jedem der Anbindungsbereiche können jeweils zwischen Vorderkante und Hinterkante zumindest jeweils zumindest zwanzig Gitterpunkte gelegt werden, wobei zwei gegenüberliegende Punkte der beiden auf entweder der Saugseite oder der Druckseite angeordneten Anbindungsbereiche entlang der gemessenen Oberfläche verbunden werden, so dass eine entsprechend feine Unterteilung der Anbindungsstruktur ermöglicht wird. Hieraus lassen sich die Ausdehnungen der in dieser Anmeldung beschriebenen Bereiche der Anbindungsstruktur, das heißt des Fillets, und dessen Varianten zumindest in erster Näherung bestimmen.

[0022] Bei den oben beschriebenen Verfahren zur Bestimmung der Größen und Lagen handelt es sich um erste Näherungsverfahren, um eine unbekannte Schaufel einordnen zu können. Eine Überprüfung sollte wenn geboten in einem weiteren Schritt möglichst anhand der genauen Geometrie und der Kenntnis der Anbindungen vorgenommen werden. Genauere Ergebnisse liefert das Heranziehen tatsächlicher Größen beispielsweise aus Konstruktionszeichnungen.

[0023] Es ist die Aufgabe der Erfindung eine Bliskanzugeben, deren Sicherheitsverhalten bei Schadenseinwirkung oder extremer Belastung verbessert ist.

[0024] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß von einer Bliskgemäß Anspruch 1 und einer Verdichterblisk gemäß dem Anspruch 12 gelöst.

[0025] Eine solche erfindungsgemäße Blisk in einer Gasturbine umfasst zumindest eine Schaufel mit einem Schaufelblatt und einem Schaufelfuß, eine Plattform, insbesondere eine Rotorscheibenplattform, wobei die Schaufel an der Plattform integral befestigt ist, ein an dem Schaufelfuß und zwischen dem Schaufelblatt und der Plattform angeordnetes Fillet, wobei das Fillet in das Schaufelblatt an einer Schaufelverbindung übergeht und wobei das Fillet in die Plattform an einer Plattformverbindung übergeht. Das Fillet erstreckt sich mit einer Längserstreckung um den Schaufelfuß und einer Quererstreckung von der Plattformverbindung an der Plattform zu der Schaufelverbindung an dem Schaufelblatt, wobei das Fillet entlang der Quererstreckung einen variablen Radius aufweist. Die zumindest eine Schaufel, die Plattform und die entsprechende Verbindung umfassend das Fillet bilden eine Schaufel-Plattform-Verbindung, wobei auch unterschiedliche Schaufel-Plattform-Verbindungen an einer Blisk vorgesehen sein können.

[0026] Die Aufgabe wird von der erfindungsgemäßen Blisk dadurch gelöst, dass der variable Radius zumindest in einem ersten Abschnitt des Fillets einen minimalen Radius aufweist, der zumindest in dem ersten Abschnitt entlang der Quererstreckung des Fillets zu der Plattform mindestens 15%, bevorzugt mindestens 30%, der Quererstreckung beabstandet ist. Durch den Abstand zur Plattform wird vorteilhaft erreicht, dass es im Schadens-

fall nicht zu einem Riss in die Plattform und damit die Rotorscheibe kommt. Ein solcher Abstand des minimalen Radius zu der Plattform stellt somit eine Rissbeeinflussungseinrichtung dar. Hierdurch wird vorteilhaft ein erstes Entkopplungsmittel statischer und dynamischer Spannungen in der Schaufel in die Geometrie eingeführt. Dadurch wird die Gefahr eines Scheibenversagens deutlich reduziert. Es kann vorgesehen sein, dass der Abstand zu der Plattform mindestens 35%, insbesondere mindestens 40%, besonders bevorzugt mindestens 45% der Quererstreckung des Fillets beträgt. Dadurch kann bei einer Beschädigung der Schaufel ein Risswachstum in die Schaufel und von der Rotorscheibe weg günstig beeinflusst werden. Ergänzend kann vorgesehen sein, dass der minimale Radius nicht nur linienförmig, sondern auch bandförmig ausgebildet ist. Der minimale Radius kann zumindest in dem ersten Abschnitt über einen mittleren Bereich der Quererstreckung konstant sein. Entsprechend ist der variable Radius als Funktion zu betrachten, die auch streckenweise konstante Werte aufweisen kann. Das so gebildete Strukturband eines minimalen Radius kann sich entlang der Längserstreckung des Fillets erstrecken, wobei das Fillet entlang der Quererstreckung in dem Strukturband einen Radius mit konstanten Minimalwert oder eine Gerade aufweisen kann. Der erste Abschnitt des Fillets kann 5% der Längserstreckung des Fillets ausmachen. Es kann aber auch vorgesehen sein, dass der erste Abschnitt größer oder kleiner ist. So kann der erste Abschnitt 2%, 3% oder 4% der Längserstreckung des Fillets ausmachen, der erste Abschnitt kann aber auch 10%, 15% oder 20% der Längserstreckung des Fillets ausmachen.

[0027] Weitere Merkmale der Erfindung werden in den abhängigen Ansprüchen und den Zeichnungen beschrieben. Diese Merkmale stellen weitere Aspekte der oben angegebenen Rissbeeinflussungseinrichtung dar.

[0028] In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung kann der minimale Radius entlang der Quererstreckung des Fillets zu dem Schaufelblatt mindestens 30% der Quererstreckung beabstandet sein. Dadurch kann vorteilhaft sichergestellt werden, dass auch Schäden, die auf niedriger radialer Höhe der Schaufel auftreten, nicht zu einem Risswachstum in die Scheibe führen, sondern in der Schaufel verlaufen. Hierdurch kann vorteilhaft ein zweites Entkopplungsmittel statischer und dynamischer Spannungen in der Schaufel in die Geometrie eingeführt werden. Es kann vorgesehen sein, dass die Distanz zu dem Schaufelblatt mindestens 35%, insbesondere mindestens 40%, besonders bevorzugt mindestens 45% der Quererstreckung des Fillets beträgt. Die so erhaltene Struktur des Radius des Fillets entlang der Quererstreckung ist wannenförmig bzw. U-förmig.

[0029] In einer weiteren bevorzugten Ausbildung der Blisk ist das Fillet entlang seiner Quererstreckung zumindest in dem ersten Abschnitt vollständig konkav ausgebildet ist. Dadurch, dass keine konvexen oder geraden Bereiche vorgesehen werden, können die Bauteilspannungen günstig verteilt werden und es kommt vorteilhaft

neben den geringeren aerodynamischen Auswirkungen zu geringeren mechanischen Spannungsspitzen.

[0030] Darüber hinaus kann vorgesehen sein, dass auch der Verlauf der Radien des Fillets entlang seiner Quererstreckung zumindest in dem ersten Abschnitt vollständig konkav ist. D.h. der Verlauf der Radien hat eine monoton steigende erste Ableitung entlang der Quererstreckung mit einem Nulldurchgang beim minimalen Radius.

[0031] Darüber hinaus kann in einer weiteren Ausbildung der Blik vorgesehen sein, dass der minimale Radius zumindest in dem ersten Abschnitt 5 mm oder weniger, insbesondere 3 mm oder weniger, besonders bevorzugt 2 mm oder weniger beträgt. Derart geringe Radien erlauben eine gezielte Beeinflussung der Materialspannungen, so dass vorteilhaft eine Rissausbreitung in die Scheibe verringert oder verhindert werden kann. Besonders vorteilhaft ist damit ein drittes Entkopplungsmittel angegeben, das es erlaubt statische und dynamische Spannungen gezielt getrennt voneinander zu beeinflussen. Es kann vorgesehen sein, dass der minimale Radius höchstens 5 mm, insbesondere höchstens 4 mm beträgt. Dies bedeutet, dass der übrige Radienverlauf größere Werte aufweist, was eine besonders gute Verteilung von Oberflächenspannungen erlaubt.

[0032] In einer weiteren Ausbildung der Blik weist der variable Radius zumindest in dem ersten Abschnitt einen maximalen Radius an dem Schaufelblatt und/oder an der Plattform auf, wobei der variable Radius entlang der Quererstreckung des Fillets insbesondere einen monoton fallenden Verlauf zwischen dem maximalen Radius und dem minimalen Radius aufweist. Dadurch kann zwischen dem Fillet und der Schaufel eine Schaufelverbindung mit einem maximalen Radius gebildet sein, und/oder es kann dadurch zwischen dem Fillet und der Plattform eine Plattformverbindung mit einem maximalen Radius gebildet sein. Dadurch, dass der maximale Radius an der Schaufelverbindung und/oder an der Plattformverbindung ausgebildet ist, gibt es entlang der Quererstreckung des Fillets keine lokalen Spannungskonzentrationen, die zu einem Bauteilversagen beitragen könnten.

[0033] Ferner kann in einer noch weiteren Ausführungsform zumindest in dem ersten Abschnitt ein Verhältnis des minimalen Radius zu dem maximalen Radius an dem Schaufelblatt und/oder an der Plattform mindestens 1,5, insbesondere mindestens 5, besonders bevorzugt mindestens 5 betragen. Durch eine solche Radienverteilung entlang der Quererstreckung in zumindest einem Abschnitt entlang der Längserstreckung des Fillets kann eine gezielte Spannungserhöhung zur Rissbeeinflussung herbeigeführt werden.

[0034] In einer ergänzenden oder alternativen Ausführungsform der Blik, wobei die Schaufel eine Schaufelsehne aufweist, die sich von einer Vorderkante zu einer Hinterkante erstreckt, kann vorgesehen sein, dass ein Verhältnis des maximalen Radius zu dem minimalen Radius an dem Schaufelblatt und/oder an der Plattform an

einem Maximalpunkt des Fillets, der zwischen 5% und 95% einer Schaufelsehne angeordnet ist, maximal ist. Die projizierte Distanz des Maximalpunktes auf die Schaufelsehne zu der Vorderkante beträgt mindestens 5% der Sehnenlänge der Schaufel. Dadurch kann bei einer Beschädigung der Schaufel ein Risswachstum in die Schaufel und von der Rotorscheibe weg günstig beeinflusst werden. Es kann vorgesehen sein, dass die Distanz zu der Plattform mindestens 5%, 10%, 15%, 20%, bevorzugt mindestens 25%, 30%, 35%, insbesondere mindestens 40%, oder besonders bevorzugt mindestens 45% der Quererstreckung des Fillets beträgt. Es kann vorgesehen sein, dass die Distanz zu dem Schaufelblatt mindestens 5%, 10%, 15%, 20%, bevorzugt mindestens 25%, 30%, 35%, insbesondere mindestens 40%, oder besonders bevorzugt mindestens 45% der Quererstreckung des Fillets beträgt. Es kann vorgesehen sein, dass der Maximalpunkt in dem ersten Abschnitt angeordnet ist.

[0035] In einer weiteren Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass das Fillet einen von dem ersten Abschnitt beabstandeten oder angrenzenden zweiten Abschnitt aufweist, wobei zumindest in dem zweiten Abschnitt ein Verhältnis des maximalen Radius zu einem minimalen Radius an dem Schaufelblatt und/oder an der Plattform höchstens 1,5, insbesondere höchstens 1,2, besonders bevorzugt höchstens 1,1, beträgt. Insbesondere können so gezielt Bereiche geschaffen werden, die besonders einer der statischen oder dynamischen Spannungen widerstehen kann. Dadurch ist vorteilhaft ein viertes Entkopplungsmittel angegeben, das es erlaubt statische und dynamische Spannungen gezielt getrennt voneinander zu beeinflussen.

[0036] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung kann das Verhältnis des maximalen Radius ($r_{\max}$) zu dem minimalen Radius ($r_{\min}$) an der Saugseite größer sein als an der Druckseite des Schaufelblatts, insbesondere kann das Verhältnis an der Saugseite im Mittel doppelt so groß, bevorzugt dreimal so groß, wie an der Druckseite sein.

[0037] In einer bevorzugten weiteren Ausbildungsform verläuft der erste Abschnitt von einer Vorderkante bis zu einer Hinterkante der Schaufel. Es kann aber auch vorgesehen sein, dass der erste Abschnitt zwischen 30% und 70% einer Schaufelsehne des Fillets verläuft. Weiterhin sind auch andere oder kleinere lokale Abschnitte vorgeschlagen, welche die Eigenschaften des ersten Abschnitts aufweisen. So kann ein solcher Abschnitt beispielsweise von der Vorderkante mindestens 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40% oder 45% der Sehnenlänge beabstandet sein. Ein solcher Abschnitt kann beispielsweise auch von der Hinterkante mindestens 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40% oder 45% der Sehnenlänge beabstandet sein.

[0038] Darüber hinaus kann in einer weiteren Ausführungsform ergänzend vorgesehen sein, dass der erste Abschnitt auf der Druckseite und/oder der Saugseite der Schaufel angeordnet ist. Die Anordnung des ersten Ab-

schnitts auf der Saug- und/oder Druckseite kann gezielt dazu eingesetzt werden, die statischen Spannungen aufgrund einer Schaufelneigung auszugleichen. Dadurch ist ein fünftes Entkopplungsmittel angegeben, das es erlaubt statische und dynamische Spannungen gezielt getrennt voneinander zu beeinflussen.

[0039] In einer vorteilhaften Weiterbildung kann die Blisk so ausgebildet sein, dass der erste Abschnitt auf der Saugseite der Schaufel angeordnet ist und der zweite Abschnitt auf der Druckseite der Schaufel angeordnet ist. Durch diese gegenüberliegende Anordnung der beiden unterschiedlichen Abschnitte des Fillets können Spannungen, die aufgrund einer Neigung der Schaufel auftreten, besonders vorteilhaft beeinflusst werden.

[0040] Eine weitere bevorzugte und ggf. unabhängig zu beanspruchende Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Blisk in einer Gasturbine umfasst zumindest eine Schaufel mit einem Schaufelblatt und einem Schaufelfuß, eine Plattform, insbesondere eine Rotorscheibenplattform, wobei die Schaufel an der Plattform integral befestigt ist, ein an dem Schaufelfuß und zwischen dem Schaufelblatt und der Plattform angeordnetes Fillet, wobei das Fillet in das Schaufelblatt an einer Schaufelverbindung übergeht und wobei das Fillet in die Plattform an einer Plattformverbindung übergeht. Das Fillet erstreckt sich mit einer Längserstreckung um den Schaufelfuß und einer Quererstreckung von der Plattformverbindung an der Plattform zu der Schaufelverbindung an dem Schaufelblatt, wobei das Fillet entlang der Quererstreckung einen variablen Radius aufweist. Die zumindest eine Schaufel, die Plattform und die entsprechende Verbindung umfassend das Fillet bilden eine Schaufel-Plattform-Verbindung, wobei auch unterschiedliche Schaufel-Plattform-Verbindungen an einer Blisk vorgehen sein können.

[0041] Die Aufgabe wird gelöst durch ein composite Fillet. Hierbei ist der radiale Offset/Abstand der Schaufelverbindung von der Plattformverbindung ABdist größer als der Offset in Umfangsrichtung gesehen der Plattformverbindung relativ zur Schaufelverbindung EBdist. Die genauere Definition der Begrenzungskurven stellt (zusätzlich zum bereits eingereichten Patent der qualitativen Radienverläufe) eine weitere Beeinflussungsmöglichkeit zur Steuerung der statischen und dynamischen Lastverteilung des Bauteils dar. Auch dieses Element trägt somit zu einer Erhöhung der Schadentoleranz (kein Risswachstum in die Scheibe) bei.

[0042] Während der strukturmekanischen Auslegungsarbeit hat sich gezeigt, dass sogenannten "composite Blends" positive Auswirkungen auf eine Separation der statischen und dynamischen Lasten haben.

[0043] Neben den Radienverläufe der Filletkontur sind hierbei auch die Definitionen der rotorseitigen Begrenzungskurve (Endwall Boundary / Plattformverbindung) sowie der schaufelseitigen Begrenzungskurve (Airfoil Boundary/ Schaufelverbindung) von entscheidender Bedeutung.

[0044] Gemäß dem vorliegenden Teilaspekt der Erfin-

dung kann basierend auf der maximalen Profildicke(t_{max0}) Blisk-Schaukel bzw. des Airfoils die Begrenzungskurven parametrisch definiert werden.

[0045] Die Plattformverbindung / Endwall Boundary kann hierbei durch einen rolling Ball, einen variablen rolling Ball oder auch einen Offset der Schaufeloberfläche um einen konstanten / variablen Wert erzeugt werden.

[0046] Als Wertebereich für den zu schützenden Bereich gilt $EBdist = 0,70 \dots 1,35 * t_{max0}$

Die Schaufelverbindung / Airfoil Boundary kann hierbei durch einen rolling Ball, einen variablen rolling Ball oder auch einen Offset der Ringraumoberfläche um einen konstanten / variablen Wert erzeugt werden.

[0047] Als Wertebereich für den zu schützenden Bereich gilt $ABdist = 0,8 \dots 2,0 * t_{max0}$

Zusätzlich gilt in allen Bereichen die Anforderung $ABdist > EBdist$ um eine elliptische Ausprägung des composite Blends zu garantieren.

[0048] In anderen Worten kann der radiale Offset/Abstand der Schaufelverbindung von der Plattformverbindung in einem Bereich $ABdist = 0,8 \dots 2,0 * t_{max0}$ liegen und der Offset in Umfangsrichtung gesehen der Plattformverbindung relativ zur Schaufelverbindung $EBdist$ kann $0,70 \dots 1,35 * t_{max0}$ betragen, wobei $ABdist$ größer als $EBdist$ ist.

[0049] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine Blisk in einer Gasturbine, umfassend zumindest eine Schaufel mit einem Schaufelblatt und einem Schaufelfuß, eine Plattform, insbesondere eine Rotorscheibenplattform, wobei die Schaufel an der Plattform integral befestigt ist, einem Fillet, das an dem Schaufelfuß und zwischen dem Schaufelblatt und der Plattform die Schaufel mit der Plattform verbindet. Das Fillet erstreckt sich mit einer Längserstreckung um den Schaufelfuß und einer Quererstreckung von der Plattform zu dem Schaufelblatt, wobei das Fillet entlang der Quererstreckung einen variablen Radius aufweist. Die Aufgabe wird von dieser weiteren Schaufel-Plattform-Verbindung dadurch gelöst, dass das Fillet ein, insbesondere strukturelles und/oder geometrisches, Entkopplungsmittel von im Betrieb in der Schaufel-Plattform-Verbindung auftretenden statischen und dynamischen Spannungen aufweist.

[0050] Die Erfindung wird bezüglich der nachfolgenden Zeichnungen anhand einiger bevorzugter Ausführungsbeispiele der Erfindung näher erläutert.

Fig. 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Verdichterbisk

Fig. 2a zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Schaufel-Plattform-Verbindung auf einer Saugseite einer Schaufel

Fig. 2b zeigt das erste Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Schaufel-Plattform-Verbindung mit beispielhaft eingezeichneten Radienverläufen

Fig. 3a zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Schaufel-Plattform-Verbindung auf einer Druckseite einer Schaufel

Fig. 3b zeigt das zweite Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Schaufel-Plattform-Verbindung mit beispielhaft eingezeichneten Radienverläufen

[0051] In Fig. 1 ist ein Segment eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Blik 2 perspektivisch dargestellt. Die Blik 2 ist in einer Gasturbine 1 für ein Flugtriebwerk angeordnet, wobei die Gasturbine 1 in der Fig. 1 durch ihre drei Hauptachsen Ax, R, U angedeutet ist. Die drei Hauptachsen verlaufen in Axialrichtung Ax, Radialrichtung R und Umfangsrichtung U. Die Blik 2 dient als ein Rotor in einem Verdichter der Gasturbine 1.

[0052] Die Blik 2 umfasst eine Blikscheibe 4 und eine auf der Blikscheibe 4 angeordnete Vielzahl an als Lauf-schaufeln bezeichneten Schaufeln 10. Die Schaufeln 10 sind auf einer Plattformoberfläche 22 einer Plattform 20 der Blikscheibe 4 beabstandet zueinander in Umfangsrichtung U angeordnet. Die Schaufeln 10, die Plattform 20 und ein jeweils eine der Schaufeln 10 und die Plattform 20 verbindendes Fillet 30 bilden gemeinsam eine Schaufel-Plattform-Verbindung 3. Die Schaufeln 10 weisen ein Schaufelblatt 11 zur Aufnahme aerodynamischer Kräfte, einen Schaufelfuß 14 zur Anbindung an der Plattformoberfläche 20 sowie eine zu einer Ringraum wand der Gasturbine 1 weisende Schaufelspitze 15 auf. Die Blik 2 dreht sich in Umfangsrichtung U, wobei jeweils eine Saugseite 16 der jeweiligen Schaufel 10 entgegen der Drehrichtung und eine Druckseite 17 der jeweiligen Schaufel 10 in Drehrichtung der Blik 2 angeordnet sind. Saug- und Druckseite 16, 17 erstrecken sich dabei jeweils von einer Vorderkante 12 bis zu einer Hinterkante 13 der jeweiligen Schaufel 10.

[0053] Die Bliken 2 weisen ein besonders robustes Risswachstumsverhalten auf, wobei Risse insbesondere kaum oder gar nicht in die Scheibe eindringen können, sondern vorher die Schaufeln 10 von der Plattform 20 getrennt werden.

[0054] Die Schaufel-Plattform-Verbindungen 3 werden im Folgenden anhand zweier Ausführungsbeispiele in den Fig. 2a, 2b und Fig. 3a, 3b näher erläutert.

[0055] Fig. 2a zeigt ein erstes erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel einer Schaufel-Plattform-Verbindung 3 in einer räumlichen, schematischen Darstellung auf einer Saugseite 16 einer Schaufel 10. Die Schaufel-Plattform-Verbindung 3 umfasst die Schaufel 10, eine Plattform 20 sowie ein Fillet 30, welches die Schaufel 10 und die Plattform 20 miteinander verbindet. Die Schaufel 10 weist wie in Fig. 1 beschrieben ein Schaufelblatt 11 und einen Schaufelfuß 14 auf. Das Fillet 30 umgibt den Schaufelfuß 14 entlang seiner Längserstreckung L und erstreckt sich quer zu seiner Längserstreckung L entlang seiner Quererstreckung Q von der Plattform 20 zu dem Schaufelblatt 11.

[0056] Das Fillet 30 erstreckt sich in dem Ausführungsbeispiel um und von einer Vorderkante 12 bis zu einer Hinterkante 13 der Schaufel 10, wobei eine Längserstreckung L des Fillets 30 jeweils von der Vorderkante 12

bis zu der Hinterkante 13 definiert ist. Die Hinterkante 13 ist in diesem Ausführungsbeispiel durch einen Schnitt der Blik 2 gebildet, so dass die Schaufel 10 in einem Bereich des Schaufelfußes 14 zwei Hinterkanten 13 aufweist, die an dem Schaufelblatt 11 zusammenlaufen. Das Fillet 30 endet daher an den Hinterkanten 13 und umrundet diese nicht. Das Fillet 30 grenzt mit einer Schaufelverbindung 32 an die Schaufel 10 beziehungsweise das Schaufelblatt 11 und mit einer Plattformverbindung 34 an die Plattform 20. In Quererstreckung Q ist das Fillet 30 über die gesamte Längserstreckung L konkav ausgebildet und weist einen variablen Radius r auf.

[0057] Der variable Radius r ist in einem mittleren Bereich 38 des Fillets 30 entlang der Quererstreckung Q ein minimaler Radius $r_{\min}$. Praktischer Weise wird die Längserstreckung L auf der Höhe des minimalen Radius $r_{\min}$ des Fillets gemessen. Der mittlere Bereich 38 ist bandförmig ausgebildet und verläuft um die Schaufel 10, wobei sich der minimale Radius $r_{\min}$ an einem Punkt, über einen Teil oder die gesamte Breite des mittleren Bereichs 38 erstrecken kann. So kann eine Fläche gebildet sein, die den minimalen Radius aufweist. Der mittlere Bereich 38 ist von der Schaufelverbindung 32 mindestens 20%, 25% oder 30% der Quererstreckung Q des Fillets 30 beabstandet. Ferner ist der mittlere Bereich 38 von der Plattformverbindung 34 mindestens 30% der Quererstreckung Q des Fillets 30 beabstandet. In Längserstreckung L des Fillets 30 ist der minimale Radius $r_{\min}$ von der Vorderkante 12 mindestens 5%, 10%, 15%, 20%, 25% oder 30% der Längserstreckung L des Fillets 30 beabstandet. Ferner ist der minimale Radius $r_{\min}$ von der Hinterkante 13 mindestens 10%, 15%, 20%, 25% oder 30% der Längserstreckung L des Fillets 30 beabstandet.

[0058] Dadurch ist der minimale Radius $r_{\min}$ vorteilhaft in einem zentralen Bereich des Fillets 30 auf der Saugseite 16 der Schaufel 10 angeordnet. Dies ermöglicht die gezielte Separation von statischen und dynamischen Spannungsmaxima und ist somit zuträglich für die Schadenstoleranz des Bauteils.

[0059] Fig. 2b zeigt das erste erfindungsgemäße Ausführungsbeispiel der Schaufel-Plattform-Verbindung 3 mit beispielhaft eingezeichneten Radienverläufen r. Der Übersicht halber sind nicht noch einmal alle Bezugszeichen eingezeichnet.

[0060] Die variablen Radien r weisen in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel entlang der Längserstreckung L in allen Fällen außen und innen an dem Schaufelübergang 32 sowie an dem Plattformübergang 34 einen maximalen Radius $r_{\max}$ auf. In Kombination mit dem minimalen Radius $r_{\min}$ in dem mittleren Bereich 38 ergibt sich somit ein Wannenförmiger beziehungsweise U-förmiger Quererstreckungsverlauf des Fillets 30 entlang seiner Längserstreckung L.

[0061] Sowohl in Fig. 2a als auch in Fig. 2b ist ein erster Abschnitt 36a des Fillets 30 eingezeichnet, der die oben genannten Eigenschaften aufweisen kann. Insbesondere kann an einem Maximalpunkt M ein Verhältnis des größeren maximalen Radius $r_{\max}$ zu dem minimalen Ra-

dus $r_{\min}$ maximal sein. Der Maximalpunkt M kann von der Vorderkante 12 und/oder der Hinterkante 13 projiziert auf eine Sehne S der Schaufel 10 auf der radialen Höhe des Maximalpunktes M mindestens 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40% oder 45% beabstandet sein. Es kann vorgesehen sein, dass der erste Abschnitt 36a an einer Stelle des Fillets 30 angeordnet ist, die zu einer benachbarten Schaufel 10 auf der Blisk 2 den geringsten Abstand aufweist.

[0062] In dem ersten Ausführungsbeispiel in Fig. 2a und 2b verringert sich das Verhältnis des maximalen Radius $r_{\max}$ zu dem minimalen Radius $r_{\min}$ entlang der Längserstreckung L in Richtung auf die Vorderkante 12 und die Hinterkante 13. Dabei wird die Wannenform beziehungsweise die U-Form in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel zwischen der Vorderkante 12 und der Hinterkante 13 der Schaufel beibehalten, ist allerdings an der Vorderkante 12 und der Hinterkante 13 nicht mehr so stark ausgeprägt, so dass vorteilhaft ein besserer Kraftfluss in dem vorderen Bereich und dem hinteren Bereich der Schaufel 10 stattfinden kann. Um diesen Verlauf zu erzielen kann beispielsweise zumindest einer der beiden maximalen Radien $r_{\max}$ in Richtung auf die Vorderkante und/oder die Hinterkante abnehmen, insbesondere monoton fallend sind. Es kann aber auch alternativ oder ergänzend vorgesehen sein, dass der minimale Radius $r_{\min}$ in Richtung auf die Vorderkante 12 und/oder die Hinterkante 13 zunimmt.

[0063] Durch das gezeigte Ausführungsbeispiel werden in statisch hoch belasteten Bereichen, beispielsweise im Fillet zwischen Schaufel und Plattform durch die Einbringung eines größeren Radius weitere Spannungskonzentrationen vermieden.

[0064] Fig. 3a und 3b zeigen ein zweites erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel einer Schaufel-Plattform-Verbindung 3 in einer räumlichen, schematischen Darstellung auf einer Saugseite 16 einer Schaufel 10. Dabei werden im Folgenden nur Unterschiede zu dem ersten Ausführungsbeispiel beschrieben. Es können sich noch weitere Details und Unterschiede zu dem ersten Ausführungsbeispiel aus den Figuren ergeben.

[0065] Auf der Druckseite 17 der Schaufel 10 ist ein erster Abschnitt 36a mit den oben zu dem ersten Ausführungsbeispiel beschriebenen Eigenschaften in einem vorderen Bereich der Schaufel-Plattform-Verbindung 3 in räumlicher Nähe zu der Vorderkante 12 der Schaufel 10 angeordnet. Der Abstand zu der Vorderkante 12 entlang der Längserstreckung des Fillets beträgt dabei 20% oder weniger. Das heißt, das ein maximaler Verhältnis zwischen maximalen Radius $r_{\max}$ und minimalem Radius $r_{\min}$ in der Nähe der Vorderkante 12 angeordnet ist.

[0066] Ein zweiter Abschnitt 36b des Fillets 30 mit von dem ersten Abschnitt 36a abweichenden Eigenschaften ist in einem mittleren Bereich entlang der Längserstreckung L des Fillets 30 angeordnet. Dieser zweite Abschnitt 36b ist auf der Druckseite angeordnet und weist ein Verhältnis von dem maximalen Radius $r_{\max}$ zu dem minimalen Radius $r_{\min}$ von weniger als 1,5 auf. Beson-

ders bevorzugt ist der Radius entlang der Quererstreckung Q des Fillets 30 in dem zweiten Abschnitt 36b konstant. Der zweite Abschnitt 36b kann bevorzugt projiziert auf die Schaufelsehne S von der Vorderkante 12 und/oder der Hinterkante 13 zum indet 30% der Schaufelsehnenlänge beabstandet sein. Dadurch wird vorteilhaft ein gleichmäßiger Radienverlauf in der Schaufelmitte in Längserstreckung L des Fillets 30 erzielt.

[0067] Es kann vorgesehen sein, dass ein dritter Abschnitt 36c des Fillets in einem hinteren Bereich des Fillets 30 in der Nähe der Hinterkante 13 der Schaufel 10 vorgesehen ist, der dem ersten Abschnitt ähnlich ist, aber ein geringeres Verhältnis von maximalem Radius $r_{\max}$ zu minimalen Radius $r_{\min}$ aufweist.

[0068] Schließlich kann in einem weiteren Ausführungsbeispiel vorgesehen sein, dass ein Fillet 30 gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel gemäß den Darstellungen in den Fig. 2a und 2b, welches den Filletverlauf auf der Saugseite 16 der Schaufel 10 beschreibt und dass ein Fillet 30 gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel gemäß den Darstellungen der Fig. 3a und 3b, welches den Filletverlauf auf der Druckseite 17 beschreibt, kombiniert sind. So kann der erste Abschnitt auf gleicher Höhe oder einer höchstens 10% Abweichung entlang der Sehne S der Schaufel 10 wie der zweite Abschnitt 36b angeordnet sein. Dadurch wird ein Rissfortschritt auf eine Seite der Schaufel gelenkt, so dass auf der höher belasteten Druckseite 17 der Schaufel 10 die Wahrscheinlichkeit eines Scheibenrisses vorteilhaft verringert ist.

Bezugszeichenliste

[0069]

1	Gasturbine
2	Blisk
3	Schaufel-Plattform-Verbindung
10	Schaufel
11	Schaufelblatt
12	Vorderkante
13	Hinterkante
14	Schaufelfuß
15	Schaufelspitze
16	Saugseite
17	Druckseite
20	Plattform
22	Plattformoberfläche
30	Fillet
32	Schaufelverbindung
34	Plattformverbindung
36a	erster Abschnitt
36b	zweiter Abschnitt
38	mittlerer Bereich
r	variabler Radius

$r_{\min}$	minimaler Radius
$r_{\max}$	maximaler Radius
S	Schaufelsehne
M	Maximalpunkt

Patentansprüche

1. Blisk (2), insbesondere Verdichterblisk, für eine Gasturbine (1), umfassend

zum indet eine Schaufel (10) mit einem Schaufelblatt (11) und einem Schaufelfuß (14), eine Plattform (20), wobei die Schaufel (10) an der Plattform (20) integral befestigt ist, ein an dem Schaufelfuß (14) und zwischen dem Schaufelblatt (11) und der Plattform (20) angeordnetes Fillet (30), wobei das Fillet (30) in das Schaufelblatt (11) an einer Schaufelverbindung (32) übergeht und wobei das Fillet (30) in die Plattform (20) an einer Plattformverbindung (34) übergeht, wobei sich das Fillet (30) mit einer Längserstreckung (L) um den Schaufelfuß (14) und einer Quererstreckung (Q) von der Plattform (20) zu dem Schaufelblatt (11) erstreckt, wobei das Fillet (30) entlang der Quererstreckung (Q) einen variablen Radius (r) aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der variable Radius (r) zumindest in einem ersten Abschnitt (36a) des Fillets (30) einen minimalen Radius ($r_{\min}$) aufweist, der zumindest in dem ersten Abschnitt (36a) entlang der Quererstreckung (Q) des Fillets zu der Plattform mindestens 15%, bevorzugt mindestens 30%, der Quererstreckung (Q) beabstandet ist.

2. Blisk (2) gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, der minimale Radius ($r_{\min}$) entlang der Quererstreckung (Q) des Fillets (30) zu dem Schaufelblatt (11) um mindestens 30% der Quererstreckung (Q) beabstandet ist.

3. Blisk (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Fillet (30) entlang seiner Quererstreckung (Q) zumindest in dem ersten Abschnitt (32a) vollständig konkav ausgebildet ist.

4. Blisk (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der minimale Radius ($r_{\min}$) zumindest in dem ersten Abschnitt 5 mm oder weniger, insbesondere 3 mm oder weniger, besonders bevorzugt 2 mm oder weniger beträgt.

5. Blisk (2) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der variable Radius (r) zumindest in dem ersten Abschnitt (36a) einen

maximalen Radius ($r_{\max}$) an dem Schaufelblatt (11) und/oder an der Plattform (20) aufweist, wobei der variable Radius (r) insbesondere einen monoton fallenden Verlauf zwischen dem maximalen Radius ($r_{\max}$) und dem minimalen Radius ($r_{\min}$) aufweist.

6. Blisk (2) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest in dem ersten Abschnitt (36a) ein Verhältnis des maximalen Radius ($r_{\max}$) zu dem minimalen Radius ($r_{\min}$) an dem Schaufelblatt (11) und/oder an der Plattform (20) mindestens 1,5, insbesondere mindestens 3, besonders bevorzugt mindestens 5, beträgt.

7. Blisk (2) nach Anspruch 5 oder 6, wobei die Schaufel eine Schaufelsehne (S) aufweist, die sich von einer Vorderkante (12) zu einer Hinterkante (13) erstreckt, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Verhältnis des maximalen Radius ($r_{\max}$) an dem Schaufelblatt (11) und/oder an der Plattform (20) zu dem minimalen Radius ($r_{\min}$) an einem Maximalpunkt (M) des Fillets (30), der zwischen 30% und 70% einer Schaufelsehne (S) angeordnet ist, maximal ist.

8. Blisk (2) nach einem Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Fillet (30) einen von dem ersten Abschnitt (36a) beabstandeten oder angrenzenden zweiten Abschnitt (36b) aufweist, wobei zumindest in dem zweiten Abschnitt (36b) ein Verhältnis eines maximalen Radius ($r_{\max}$) zu dem minimalen Radius ($r_{\min}$) an dem Schaufelblatt (11) und/oder an der Plattform (20) höchstens 1,5, insbesondere höchstens 1,2, besonders bevorzugt höchstens 1,1, beträgt.

9. Blisk (2) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Abschnitt (36a) von einer Vorderkante (12) bis zu einer Hinterkante (13) der Schaufel (10) verläuft.

10. Blisk (2) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Abschnitt (36a) auf der Druckseite (16) und/oder der Saugseite (17) der Schaufel (10) angeordnet ist.

11. Blisk (2) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Abschnitt (36a) auf der Saugseite (16) der Schaufel (10) angeordnet ist und der zweite Abschnitt (36b) auf der Druckseite (17) der Schaufel angeordnet ist.

Fig. 1

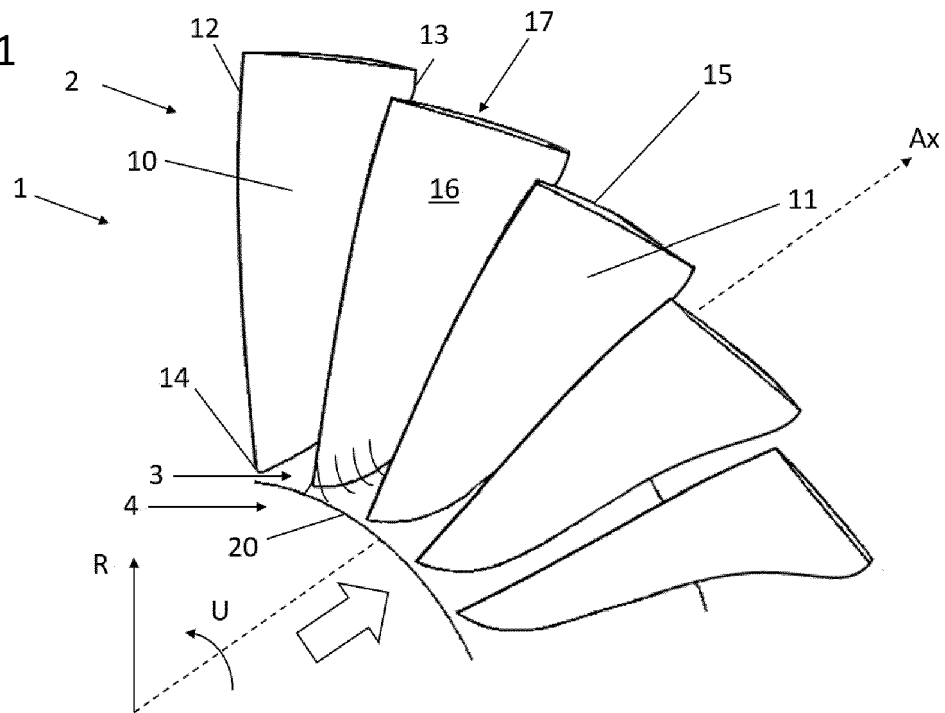


Fig. 2a

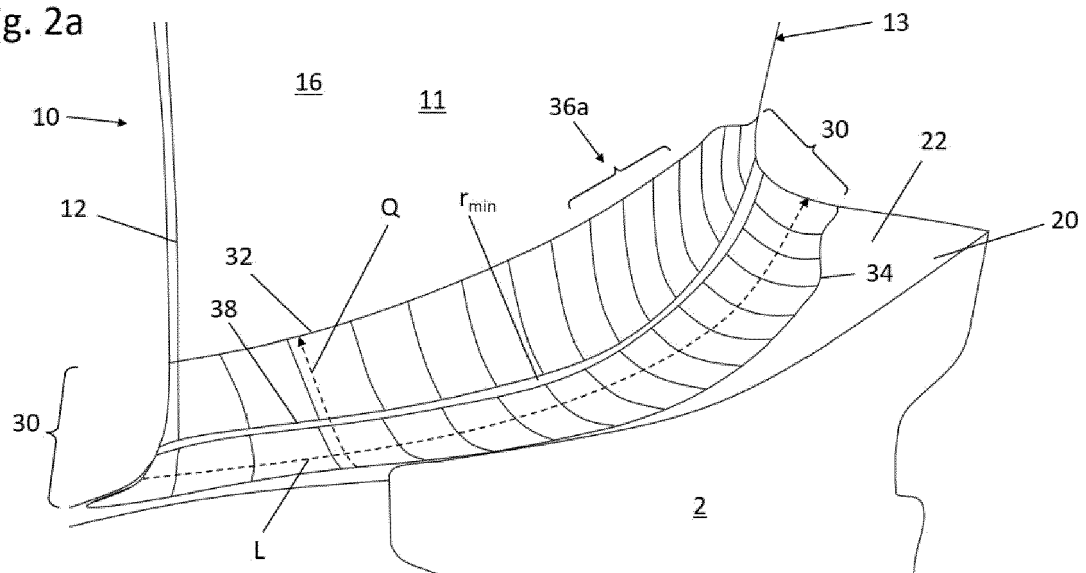


Fig. 2b

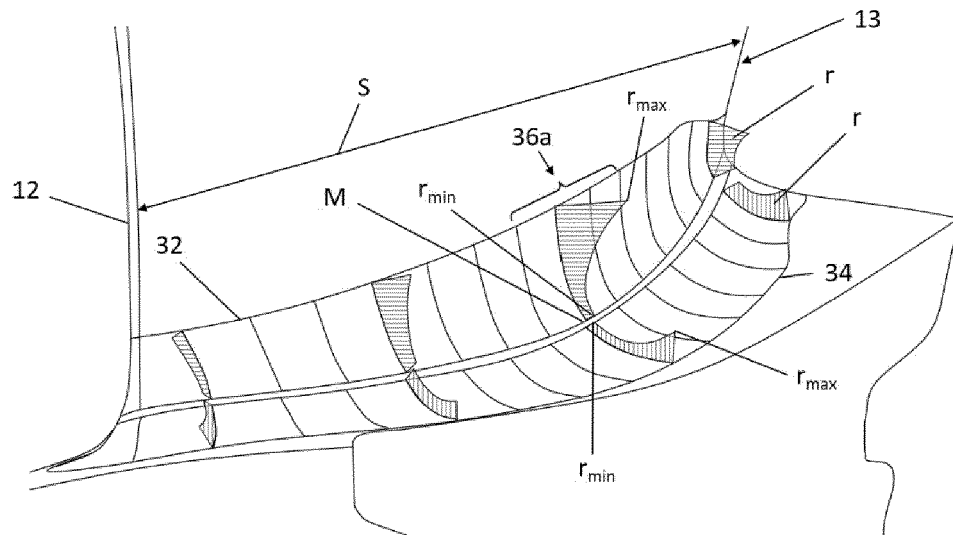


Fig. 3a

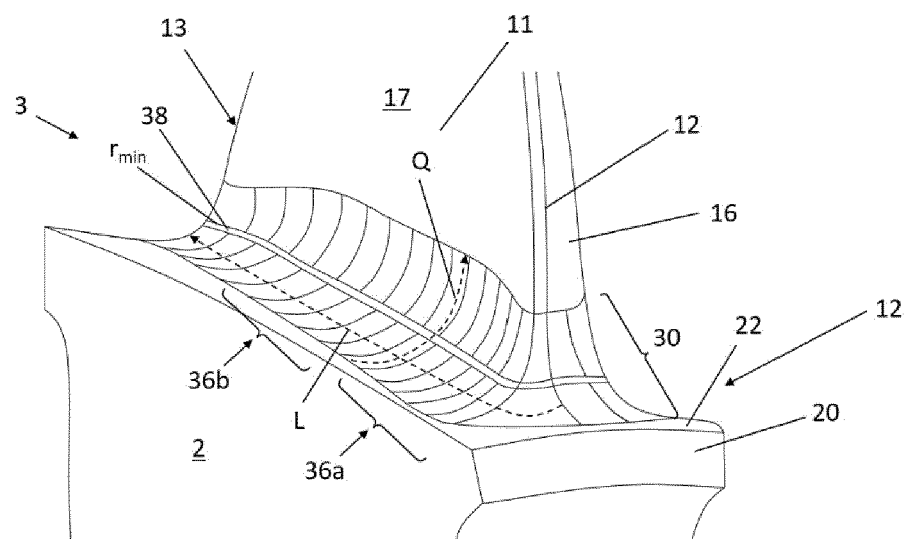
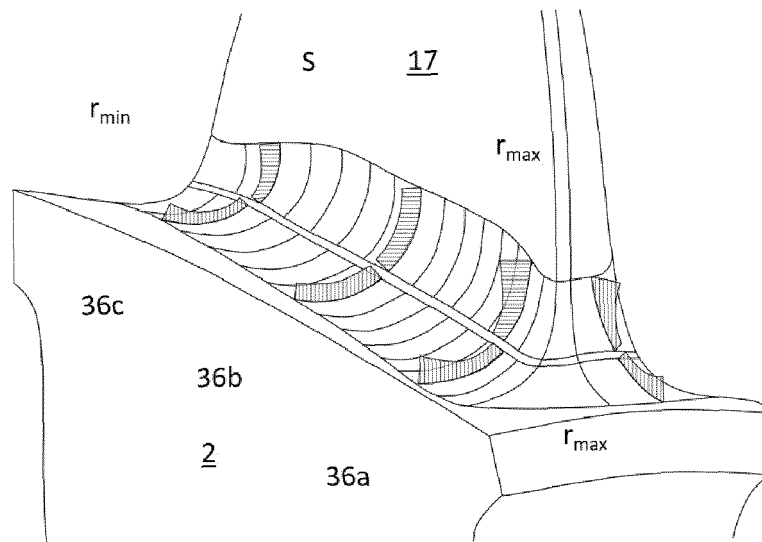


Fig. 3b





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 21 6827

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X, P	EP 4 239 163 A1 (MTU AERO ENGINES AG [DE]) 6. September 2023 (2023-09-06) * Absätze [0021] - [0032], [0041] - [0045]; Abbildungen 1,2 *	1-3,5, 9-11	INV. F01D5/14 F01D5/28 F01D5/34
X	EP 4 019 741 A1 (PRATT & WHITNEY CANADA [CA]) 29. Juni 2022 (2022-06-29) * Absätze [0053] - [0059]; Abbildungen 3-16 *	1-11	
A	DE 10 2019 118549 A1 (ROLLS ROYCE DEUTSCHLAND LTD & CO KG [DE]) 14. Januar 2021 (2021-01-14)	1-11	
A	EP 3 473 431 A1 (MTU AERO ENGINES AG [DE]) 24. April 2019 (2019-04-24) * Absätze [0031] - [0050]; Abbildungen 1-8 *	1-11	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 17. Mai 2024	Prüfer Avramidis, Pavlos
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 Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

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

EP 23 21 6827

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.

17-05-2024

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	EP 4239163	A1	06-09-2023	EP 4239163	A1	06-09-2023
				US 2023279777	A1	07-09-2023
15	EP 4019741	A1	29-06-2022	CA 3119169	A1	15-06-2022
				CN 114635755	A	17-06-2022
				EP 4019741	A1	29-06-2022
				PL 4019741	T3	08-04-2024
				US 2022186622	A1	16-06-2022
20	DE 102019118549	A1	14-01-2021	DE 102019118549	A1	14-01-2021
				EP 3997309	A1	18-05-2022
				US 2022290634	A1	15-09-2022
				WO 2021004821	A1	14-01-2021
25	EP 3473431	A1	24-04-2019	DE 102017218886	A1	25-04-2019
				EP 3473431	A1	24-04-2019
				EP 3711945	A1	23-09-2020
				US 2019120061	A1	25-04-2019
30						
35						
40						
45						
50						
55						

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

- EP 3473431 A1 [0003]
- EP 4019741 A1 [0004]