

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
26.07.2023 Patentblatt 2023/30

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F01D 5/14 (2006.01) **F01D 9/04** (2006.01)
F01D 25/16 (2006.01) **F01D 25/30** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23150756.7**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F01D 5/143; F01D 9/042; F01D 25/162;
F01D 25/30

(22) Anmeldetag: **09.01.2023**

(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:

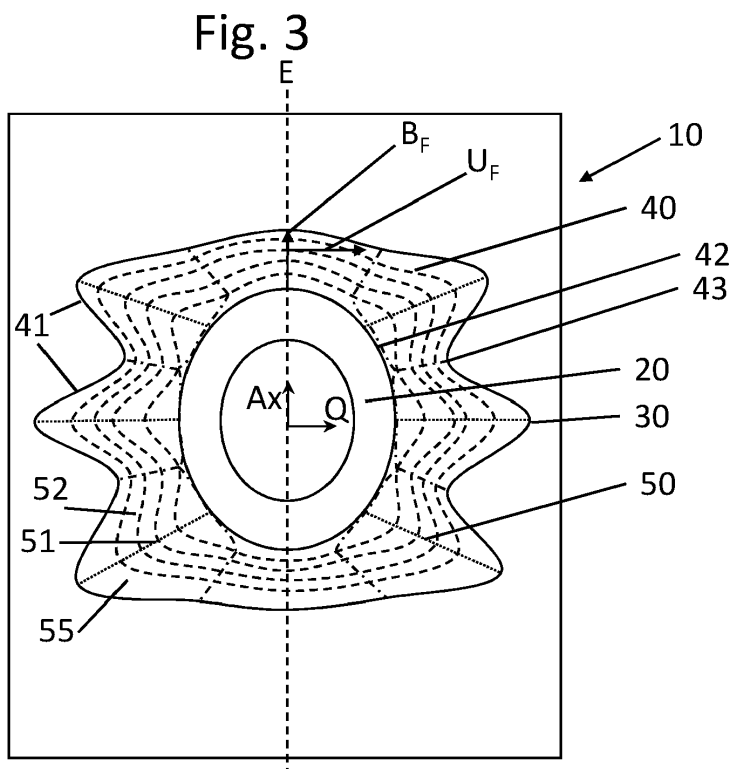
- Ertl, Franz-Josef
80995 München (DE)
- Cipollone, Michael
Rocky Hill, CT 06067 (US)

(30) Priorität: 25.01.2022 DE 102022101661

(54) VERBINDUNGSSTRUKTUR ZUR LASTÜBERTRAGUNG

(57) Die Erfindung betrifft eine Verbindungsstruktur (10) zur Lastübertragung, insbesondere in einer Gasturbine (1), mit einer Strebe (20) und zumindest einem Wandlelement (30), wobei die Strebe (20) an einem Ende integral mit dem Wandlelement (30) verbunden ist und wobei die Strebe (20) und das Wandlelement (30) zumindest bereichsweise von einem Fillet (40) umgeben und mit

diesem integral verbunden sind. Erfindungsgemäß wird eine elastische Verformungen der beteiligten Elemente der Struktur bei der Lastübertragung und/oder Lastaufnahme dadurch verbessert, dass auf dem Fillet (40) ein durch einen Wulst (56) gebildeter Wurzelabschnitt (50) angeordnet ist, der von der Strebe (20) zu dem Wandelement (30) verläuft.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Verbindungsstruktur zur Lastübertragung in einer Gasturbine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Derartige Verbindungsstrukturen weisen eine Strebe (engl. "strut") auf, die an einem Ende mit mindestens einem Wandelement integral verbunden und dort von einem Fillet ebenfalls integral verbunden umgeben ist.

[0002] Die Verbindungsstrukturen werden beispielsweise in Gasturbinen, insbesondere Flugtriebwerken, und dort insbesondere in einem Lagerdichtungsgehäuse eines Turbinenzwischengehäuses, eingesetzt.

[0003] Konkrete Beispiele für Anwendungen von Verbindungsstrukturen sind Lagerdichtungsgehäuse, die hohe Belastungen und elastische Verformungen aufnehmen müssen, da sie mit ihren als Stützen ausgebildeten Streben die Kräfte von den Wellenlagern in Richtung Außengehäuse der Gasturbine übertragen und aufnehmen. Weitere Beispiele, in denen ein Fillet eine Strebe und ein Wandelement miteinander verbindet sind die in der Strömung angeordneten Schaufeln eines Rotors oder eines Stators zur Aufnahme und Übertragung von aerodynamischen Kräften, auch wenn die Schaufeln üblicherweise nicht als Stütze bezeichnet werden. Dabei sind die Schaufeln die Stützen und die nabenseitig angeordnete Innenwand des Rotors oder die Innenwand und/oder die Außenwand des Stators sind Beispiele des Wandelements. Insbesondere die Aufnahme hochdynamischer Kräfte und/oder starken Spannungen aufgrund von hohen Temperaturgradienten erzeugen lokal höchste Belastungspositionen, denen im Fillet mit entsprechender zusätzlicher Masse entgegengewirkt wird. Ein weiterer exemplarischer Anwendungsfall sind die Streben der Verbindungsstruktur in einem Zwischenkanal, insbesondere in einem Verdichter- oder Turbinenzwischenkanal (engl. "intermediate compressor duct/turbine center frame"), wobei die Stützen sowohl zur Aufnahme aerodynamischer Kräfte als auch zur Lastübertragung von Lagerkräften vom Gehäuse zur Welle dienen. In letzterem Beispiel sind die Streben an beiden Enden mit einem Wandelement verbunden und an beiden Enden von einem Fillet umgeben, das insbesondere in einem vorderen Bereich stärker ausgebildet ist.

[0004] Das Fillet wird üblicherweise zur Reduktion von Spannungsspitzen an den Orten der höchsten elastisch auftretenden Verformungen, das heißt den lokal höchsten Belastungspositionen, verstärkt ausgebildet. Ein Nachteil ist, dass das Fillet daher mit mehr Masse versehen und schwerer ist.

[0005] Es ist eine Aufgabe der Erfindung eine Verbindungsstruktur zur Lastübertragung anzugeben, so dass das elastische Verformungsverhalten der beteiligten Elemente der Verbindungsstruktur bei der Lastübertragung verbessert wird.

[0006] Diese Aufgabe wird durch eine Verbindungsstruktur mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0007] Eine erfindungsgemäße Verbindungsstruktur zur Lastübertragung, insbesondere in einer Gasturbine, beispielsweise zwischen einem Naben- und einem Gehäusebereich durch einen Strömungskanal oder innerhalb eines Nabenbereichs, z.B. in einem Lagerdichtungsgehäuse, weist eine Strebe und zumindest ein Wandelement auf. Die Strebe ist an einem Ende integral mit dem Wandelement verbunden. Die Strebe und das Wandelement sind zumindest bereichsweise von einem Fillet umgeben und mit diesem integral verbunden.

[0008] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass auf dem Fillet zumindest ein durch eine Wulst mit einem Kamm gebildeter Wurzelabschnitt (engl. "root section") angeordnet ist. Es können mehrere Wurzelabschnitte vorgesehen sein. Durch einen Wurzelabschnitt kann besonders vorteilhaft gezielt eine Steifigkeit des Fillets lokal erhöht werden und das Fillet kann flacher und breiter ausgebildet sein. Der Wurzelabschnitt hat einen vorteilhaften Ankereffekt des mit dem Wandelement integral verbundenen Fillets. Der Wurzelabschnitt verläuft längs einer Linie, die Punkte von Umfangslinien mit einer maximalen Krümmung, das heißt mit dem Kamm der Wulst, verbindet. Der Kamm ist eine Wurzellängserstreckung. Der Kamm ist ein Maß für eine Wurzellängserstreckung des Wurzelabschnitts und weist eine konstante oder variierende Verlaufsrichtung auf. Die erhöhte Streckung der Oberfläche durch die Wulst bewirkt eine erhöhte Steifigkeit in der erfindungsgemäßen Verbindungsstruktur und erlaubt so vorteilhaft einen besseren Kraftfluss in dem Wurzelabschnitt. Es hat sich gezeigt, dass durch den besseren Kraftfluss in den Wurzelabschnitten des Fillets, insbesondere seitlich zu der Strebe, vorteilhaft geringere Spannungen an der eigentlich mit den höchsten Spannungen beaufschlagten Vorderkante der Strebe auftreten und darüber hinaus vorteilhaft Spannungsspitzen reduziert werden. Die Steifigkeit ist ein Maß für die elastische Verformbarkeit eines Elements. Es kann ferner durch die Wurzelabschnitte vorteilhaft eine gezielte lokal begrenzte erhöhte Kraftleitung erfolgen, so dass die Lastübertragung insgesamt vorteilhaft auf einfache Weise verbessert werden kann. Die Erfindung kann insbesondere auf alle in der Einleitung genannten Beispielverbindungsstrukturen übertragen werden, um das elastische Verformungsverhalten dieser Verbindungsstrukturen zu verbessern.

[0009] Das Fillet kann eine bandförmige Oberfläche (engl. "beltlike surface") aufweisen. Die bandförmige Oberfläche kann geschlossen oder offen bandförmig sein. So kann vorgesehen sein, dass die Strebe und das Wandelement an ihrer Hinterkante eine gemeinsame Schnittebene aufweisen, die kein Fillet aufweist. Das heißt die bandförmige Oberfläche des Fillets endet an den Schnittkanten der Schnittebene und ist dort geöffnet. Die bandförmige Oberfläche des Fillets kann zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig, entlang ihrer Längserstreckung zwischen der Strebe und dem Wandelement konkav ausgebildet sein. Es können auch jeweils ein Wandelement an beiden Enden der Strebe mit

der Strebe integral verbunden sein, wobei dann zwei Fillets vorgesehen sind und jeweils mit einem Wandelement und der Strebe integral verbunden sind. Die Strebenoberfläche kann einen kreisrunden, elliptischen oder tropfenförmigen Querschnitt aufweisen, der konstruktiv bis zu dem Wandelement extrudiert ist. Die Strebe kann entsprechend zu ihrem Querschnitt einen zylindrischen, ellipsoiden oder schaufelförmigen Strebenkörper aufweisen. Die Strebe kann hohl sein, wobei der Strebenkörper im Bereich des Fillets vorteilhaft ein Vollkörper sein kann. Die Strebe steht insbesondere senkrecht auf dem Wandelement. Es kann vorgesehen sein, dass die Strebe zu dem Wandelement angewinkelt ist und insbesondere einen Winkel im Bereich von 60° bis 120° zu dem Wandelement einschließt. Das Wandelement oder die Wandelemente können ebene Flächen oder eine nach innen oder außen gewölbte zylinderförmige Wandelementoberfläche sein oder aufweisen. Das Wandelement kann ein Hohlzylinder sein, auf dessen Mantelfläche das Fillet angeordnet ist. Das Wandelement kann aber auch ein Zylindersegment sein, das eine konkave oder konvexe Fläche zur Anbindung der Strebe und des Fillets bereitstellt.

[0010] Der Wurzelabschnitt und das Fillet können wie beispielsweise in Fig. 7 dargestellt anhand eines Gitters gleichmäßig eingeteilt werden. Diese Konvention ermöglicht eine genauere Beschreibung der Eigenschaften der Freiformflächen des Fillets und der Wurzelabschnitte.

[0011] Das Gitter wird zum einen durch eine Vielzahl von gleichmäßig verteilten Querschnittsebenen gebildet, deren Normale parallel zu der Längserstreckung der Strebe gerichtet ist. Die Querschnittsebenen schneiden die Kontur des Fillets und die so entstehenden Schnittlinien bilden die Umfangslinien des Fillets und die angrenzenden Bereiche der Strebe und des Wandelements.

[0012] Zum anderen werden in das Fillet Filletbreitenlinien eingezeichnet, die zwischen einem ersten Rand des Fillets an der Strebe, einem Filletthals, und einem zweiten Rand des Fillets an dem Wandelement, einem Filletfuß, verlaufen. Eine Filletbreitenlinie ist eine kürzeste Linie, die sich entlang der Oberfläche des Fillets von einem Randpunkt des Fillets an der Strebe zu einem nächstliegenden Randpunkt an dem Wandelement erstreckt, ohne dabei andere Filletbreitenlinien zu schneiden.

[0013] Zur Definition von Rändern oder Grenzen zwischen tangential ineinander übergehende Oberflächen, die jeweils eine Seite zu einem der Ränder bilden, kann folgende Tabelle 1 dienen:

Tabelle 1 - Punkte auf den tangential ineinander übergehenden Oberflächen, welche als Randpunkte des Fillet zu der Strebe beziehungsweise dem Wandelement dienen

1. Seite	konkav	gerade	konvex
2. Seite			
konkav	Änderung der Krümmung ohne Vorzeichenwechsel	Krümmungsbeginn auf 2. Seite	Vorzeichenwechsel der Krümmung
gerade	Krümmungsbeginn auf 1. Seite	kein Rand oder Stufe	Krümmungsbeginn auf 1. Seite
konvex	Vorzeichenwechsel der Krümmung	Krümmungsbeginn auf 2. Seite	Änderung der Krümmung ohne Vorzeichenwechsel

[0014] Die Fälle mit Vorzeichenwechsel der Krümmung, d.h. konkav/konvex, oder der Übergang von einer gekrümmten, das heißt konvexen oder konkaven Oberfläche zu einer geraden Oberfläche, sind optisch erkennbar.

[0015] Nicht sinnvoll ist die Definition eines Randes zwischen zwei geraden benachbarten Oberflächen, weil der Rand auf keine Weise erkennbar wäre, es sei denn, es handelt sich um eine Stufe. In der vorliegenden Erfindung ist definitionsgemäß immer mindestens eine der Seiten gekrümmt.

[0016] In den Fällen, in denen zwei konkave oder zwei konvexe Oberflächen aneinandergrenzen, sind die Ränder aufgrund der in sich gekrümmten Oberflächen nicht trivial zu erkennen. Dies ist beispielsweise bei einer Verbindungsstruktur der Fall, wenn die Strebe eine Vorwärtspfeilung aufweist und auch in diese Richtung konkav gekrümmt ist, oder wenn zwei konkave Übergangsbereiche die Strebe entlang ihrer Längserstreckung soweit umgeben, dass sie aneinanderstoßen. Es werden für die Abgrenzung der Elemente in diesen Fällen daher die folgenden Regeln definiert: Zur Definition der Elemente wird die Längsachse der Strebe betrachtet und als Bezugsachse verwendet. Gibt es ein lokales Minimum der Oberflächenlinie in Bezug auf die Längsachse, so ist der Randpunkt auf dem lokalen Minimum angeordnet. Entsprechend werden die übrigen Punkte des ersten Randes berechnet. Auf diese Weise werden die Elemente der Verbindungsstruktur voneinander abgrenzbar. Ein weiterer, nicht trivialer Fall kann in einer Verbindungsstruktur auftreten, in der ein zylindrisches Wandelement konkav nach innen gekrümmt ist, beispielsweise bei einer Strebe, die mit einem zylindrischen Außengehäuse als Wandelement verbunden ist. Es gibt dann auf dem zweiten Rand zwei Nivellierungspunkte, an denen die Oberfläche von einer konkav gekrümmten Oberfläche des Fillets in eine normal zu dem zweiten Rand verlaufende Gerade auf der Wandelementoberfläche übergehen. Alle anderen Punkte auf dem zweiten Rand weisen aufgrund der konkaven Krümmung des Wandelements zwei Seiten mit gleichem Krümmungsvorzeichen auf.

Es wird dann der absolute Krümmungsradius an dem Nivellierungspunkt auf der Oberfläche des Fillets als Bezugskrümmung herangezogen und sämtliche aneinandergereihten Punkte, deren absolute Krümmung minimal ist, bilden zusammen genommen einen Rand und sind als die Randpunkte definiert. Auf diese Weise gefundene Linie kann auch zur Bestimmung des zweiten Randes herangezogen werden, wenn auf dem Wandelement spezielle Wandoberflächenkonturen vorgesehen sind (engl. "endwall contouring"). Insbesondere kann die Wandoberflächenkontur so gestaltet sein, dass sie ihrerseits die Kräfte aus den Wurzelabschnitten weiterleitet oder verteilt. Hierbei kann es vorteilhaft sein, dass der Wurzelabschnitt und eine Erhöhung auf der Wandelementoberfläche aneinander angrenzen. Aufgrund der unterschiedlich möglichen Randverläufe können die Ränder die Umfangslinien schneiden. Die Ränder dienen als Stütze von Filletbreitenlinien und so zur Ermittlung der Filletbreite.

[0017] Alle benachbarten Umfangslinien weisen zueinander projiziert auf die Längserstreckung der Strebe den gleichen projizierten Abstand wie sämtliche anderen benachbarten Umfangslinien auf. Dieser projizierte Abstand ist die Höhenabstufung des Gitters. Die Anzahl der Höhenabstufungen ist ein Maß für die Feinheit des Gitters und kann je nach Bedarf angepasst werden. Je feiner das Gitter gewählt wird, desto genauer wird die Abschätzung für den Wert der Streckung.

[0018] Der Wurzelabschnitt bildet mit der Wulst und dem Kamm entlang einer betrachteten Umfangslinie des Fillets eine konvexe Ausbuchtung, die von zwei konkaven Abschnitten mit einem konkaven Verlauf der Umfangslinie begrenzt ist. In diesen konkaven Abschnitten gibt es zwei weitere Punkte mit Krümmungsmaxima. Diese Krümmungsmaxima haben ein zu der Krümmung des Kamms umgekehrtes Krümmungsvorzeichen und begrenzen eine entlang der betrachteten Umfangslinie zu messende Wurzelbreite des Wurzelabschnitts. Die beiden weiteren Punkte sind Endpunkte der Breitenlinie des Wurzelabschnitts. Aneinandergereiht bilden die Endpunkte aller Breitenlinien des Wurzelabschnitts Wurzelgrenzlinien. Da zwischen zwei direkt benachbarten Wurzelabschnitten ebenfalls ein konkaver Abschnitt vorliegt, eignen sich die Krümmungsmaxima in dem konkaven Abschnitt auf der Umfangslinie auch zur Unterscheidung zweier benachbarter Wurzelabschnitte.

[0019] Eine Streckung ist eine lokale dimensionslose Größe. Sie berechnet sich aus der Wurzel einer Summe des Quadrats eines auf eine der Querschnittsebenen projizierten kleinsten Abstandes zwischen zwei Schnittpunkten von Umfangslinien entlang einer Filletbreitenlinie und des Quadrats der Höhenabstufung.

[0020] Die Streckung des Wurzelabschnitts ergibt sich entsprechend aus der Wurzel einer Summe der Quadrate eines projizierten Abstandes zwischen zwei benachbarten Schnittpunkten von Umfangslinien entlang des Kamms und der Höhenabstufung. Die Streckung kann entlang des Kamms variieren. Es kann eine mittlere Streckung des Wurzelabschnitts gebildet werden, indem sämtliche gebildeten Streckungen entlang des Kamms addiert und dann durch die Anzahl der Höhenabstufungen des Gitters geteilt wird.

[0021] Entlang des Umfangsverlaufs des Fillets kann es weitere Filletbreitenlinien oder andere Linienverläufe mit maximalen Krümmungen, die kein Wurzelabschnitt sind, sondern sich vielmehr aus einer Basisform des an die Kontur der Strebe angepassten Fillets ergeben, geben. Beispielsweise ergibt sich die Basisform des Fillets aus der Kontur einer elliptischen Strebe, die als Basisform eine Ellipse mit zwei Punkten lokal maximaler Krümmung aufweist und wobei das Fillet an diese Basisform angepasst ist. Diese Linienverläufe werden der Einfachheit halber im Folgenden als reguläre Extremlinien bezeichnet. Es kann vorkommen, dass eine reguläre Extremlinie mit dem Kamm eines Wurzelabschnitts zusammenfällt, wobei die Oberfläche des Fillets gegenüber der Basisform einer Extremlinie eine erhöhte Streckung aufweist. Die Wurzelstreckung kann um mindestens 20%, insbesondere mindestens 50%, bevorzugt mindestens 100% und besonders bevorzugt um 150%, und höchstens um 2000%, insbesondere um 1500%, bevorzugt um 1000% und besonders bevorzugt um 500% gegenüber einer Streckung der regulären Extremlinien erhöht sein. Besonders vorteilhaft ist auch die mittlere Streckung des Wurzelabschnitts gegenüber einer mittleren Streckung der regulären Extremlinien um mindestens 20%, insbesondere mindestens 50%, bevorzugt mindestens 100% und besonders bevorzugt um 150%, und höchstens um 2000%, insbesondere um 1500%, bevorzugt um 1000% und besonders bevorzugt um 500% erhöht.

[0022] In einer ersten bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Wurzelabschnitt das Fillet auf der Oberfläche des Wandelements um mindestens 5%, insbesondere 10% verbreitert, und/oder dass der Wurzelabschnitt das Fillet auf der Oberfläche der Strebe um mindestens 5%, insbesondere 10% verbreitert. Hierdurch wird der Halt des Fillets auf dem Wandelement oder an der Strebe vorteilhaft verbessert und ein aufnehmbares Moment der Verbindungsstruktur erhöht.

[0023] Der Kamm erstreckt sich zum indet über entsprechend 50% einer minimalen Filletbreite, insbesondere 65% der minimalen Filletbreite, bevorzugt über 80% der minimalen Filletbreite, des Fillets. Hierdurch wird vorteilhaft ein erhöhter Kraftfluss entlang des Wurzelabschnitts möglich, der einer elastischen Verformung an den übrigen Stellen der Verbindungsstruktur entgegenwirkt. Hat das Fillet eine durchgehend konkave Krümmung zwischen dem ersten Rand und dem zweiten Rand, so erstreckt sich der Wurzelabschnitt dabei besonders bevorzugt über den Bereich der größten konkaven Krümmung quer zu den Umfangslinien des Fillets. Hierdurch wird ein zusätzlicher Bereich für einen Kraftfluss von der Strebe zu dem Wandelement geschaffen. Durch eine entlang der größten Krümmung in dem Fillet definierte Umfangslinie kann das Fillet in zwei Teile geteilt werden: in einen der Strebe zugewandten ersten Filletteil und einen dem Wandelement zugewandten zweiten Filletteil. Der Wurzelabschnitt kann eine größere Streckung in einem zweiten

Filletteil aufweisen. Ergänzend oder alternativ kann ein Durchschnittswert der quer zu dem bandförmigen Fillet verlaufenden Erstreckung des zweiten Filletteils größer sein als ein Durchschnittswert der quer zu dem bandförmigen Fillet verlaufenden Erstreckung des ersten Filletteils.

[0024] In einer weiter bevorzugten zweiten Ausführungsform ist eine Streckung des Kamms zwischen zwei benachbarten Umfangslinien des Fillets gegenüber einer Streckung des Fillets außerhalb eines Wurzelabschnitts, insbesondere einer Streckung an einer Wurzelgrenzlinie, zwischen den beiden Umfangslinien, insbesondere um mindestens 1% und höchstens um 5%, bevorzugt um mindestens 2% und höchstens 4%, vergrößert. Durch die Erhöhung der Streckung ist der Kraftfluss entlang des Wurzelabschnitts vorteilhaft erhöht. Der Wurzelabschnitt kann weiter bevorzugt sehr flach ausgeführt sein, so dass er zum einen keine oder nur eine sehr geringe aerodynamische Störung in einen Strömungskanal einbringt und zum anderen wenig zusätzliche Masse bei gleichzeitig zusätzlicher Steifigkeit in die Verbindungsstruktur einbringt.

[0025] In einer dritten Ausführungsform und Weiterbildung der Verbindungsstruktur ist vorgesehen, dass die Streckung des Kamms in einem dem Wandelement näheren Bereich des Wurzelabschnitts größer ist als in einem der Strebe näheren Bereich des Wurzelabschnitts. Hierdurch wird ein besonders vorteilhafter konkreter Bereich erhöhter Steifigkeit geschaffen, wodurch eine besonders gute Verteilung der Kräfte ermöglicht ist. Die die Streckung des Kamms entlang des Kamms von der Strebe zu dem Wandelement kann einer monoton steigenden Funktion, insbesondere einer Exponentialfunktion oder Parabelfunktion, folgen.

[0026] In einer bevorzugten Weiterbildung der Verbindungsstruktur ist vorteilhaft vorgesehen, dass die Streckung des Wurzelabschnitts in der Nähe des ersten Randes kleiner ist als in der Nähe des zweiten Randes, insbesondere dass die Streckung des Wurzelabschnitts im Bereich der zu dem ersten Rand benachbarten ersten 10% einer Gesamterstreckung des Kamms kleiner ist als im Bereich der zu dem zweiten Rand benachbarten letzten 10% der Gesamterstreckung des Kamms. Hierdurch kann gezielt die Stärke des Kraftflusses entlang des Wurzelabschnittes gesteuert werden, wobei mit der vorgeschlagenen Konfiguration insbesondere in einem Abschnitt auf dem Wandelement ein besonders guter Kraftfluss ermöglicht ist und so Spannungen eher auf das Wandelement übertragen und verteilt werden als auf die Strebe. Es kann ferner vorteilhaft vorgesehen sein, dass eine maximale Streckung des Kamms in einem mittleren Teil, insbesondere den mittleren 10%, der Gesamtlänge des Kamms angeordnet ist, so dass der Kraftfluss in einem mittleren Bereich des Fillets erhöht ist.

[0027] In einer bevorzugten vierten Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Kamm eine Verlaufsrichtung aufweist und zu einer Querrichtung der Strebe einen, insbesondere gemittelten, Wurzelwinkel aufweist, wobei der Wurzelwinkel in einem Bereich von -80° bis $+80^\circ$, insbesondere im Bereich von -45° bis $+45^\circ$, besonders bevorzugt im Bereich von -30° bis $+30^\circ$, liegt. Dadurch wird auf besonders einfache, aber überraschende Weise ein Kraftfluss weg von einer Vorder- oder Hinterkante der Strebe ermöglicht, so dass an der Vorder- oder Hinterkante der Strebe eine besonders erstrebenswerte geringere Spannung auftritt. Der Winkel kann vorzugsweise entlang des Kamms variieren und größer oder kleiner werden, so dass auf günstige Weise ein Kraftfluss von besonders belasteten Stellen an dem Fillet, der Strebe oder dem Wandelement gelenkt werden kann.

[0028] In einer bevorzugten Weiterbildung ist der Wurzelabschnitt von dem ersten und/oder dem zweiten Rand über eine minimale erste beziehungsweise zweite Distanz beabstandet. Die erste Distanz entspricht vorzugsweise zumindest 10%, besonders bevorzugt mindestens 5% und noch weiter bevorzugt mindestens 3% der minimalen Filletbreite. Die zweite Distanz entspricht vorzugsweise zumindest 10%, besonders bevorzugt mindestens 5% und noch weiter bevorzugt mindestens 3% der minimalen Filletbreite. Hierdurch werden Kräfte vorteilhaft lokal im Fillet verteilt und die vorhandenen weniger gekrümmten Oberflächen in der Nähe der Ränder des Fillets ausgenutzt, um Spannungen abzubauen und elastischen Verformungen entgegenzuwirken, ohne dass zusätzliches Material zur Erhöhung der Steifigkeit in diesen Bereichen nötig wäre.

[0029] In einer fünften bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass sich die Wurzelbreite über zumindest 10%, insbesondere mindestens 5%, besonders bevorzugt mindestens 3%, der Umfangslinie erstreckt und/oder dass sich die Wurzelbreite über zumindest 10%, insbesondere mindestens 5%, besonders bevorzugt mindestens 3%, und höchstens 15%, insbesondere höchstens 20%, besonders bevorzugt höchstens 30% einer Gesamtlänge des Kamms der Wulst des Wurzelabschnitts erstreckt. Diese Bereiche sind vorteilhaft besonders stabil und verringern die Spannungen in den übrigen Bereichen des Fillets auf besonders vorteilhafte Weise. Alternativ oder ergänzend kann vorgesehen sein, dass die Wurzelbreite zumindest entlang von 70% der Gesamtlänge des Kamms einen Verlauf aufweist, der sich um weniger als 5% ändert. Durch einen solchen konstant breiten Verlauf des Wurzelabschnitts kann die Kraftübertragung auf Bereiche konzentriert werden, die keiner großen Belastung ausgesetzt sind und daher noch zu der Kraftübertragung beitragen können.

[0030] Eine sechste bevorzugte Ausführungsform einer Verbindungsstruktur zeichnet sich dadurch aus, dass der Wurzelabschnitt von einer lokal höchsten Belastungsposition an der Strebe, an dem Wandelement oder an dem Fillet beabstandet angeordnet ist, insbesondere von einer lokal höchsten Belastungsposition in Axialrichtung vor einer Vorderkante der Strebe und/oder von einer lokal höchsten Belastungsposition in Axialrichtung hinter einer Hinterkante der Strebe. Eine lokal höchste Belastungsposition kann beispielsweise durch eine Finite Elemente Methode ermittelt werden,

wobei an der lokal höchsten Belastungsposition die Spannungen in dem Bauteil lokal am höchsten sind. Diese auf den ersten Blick unvorteilhafte erscheinende Ausgestaltung weist einen alternativen Kraftfluss auf, der eine elastische Verformung unter Belastung der Verbindungsstruktur besonders vorteilhaft an der höchsten Belastungsposition reduziert.

[0031] Die Verbindungsstruktur ist in einer siebten Ausführungsform so ausgebildet, dass das Fillet durch eine Ebene, insbesondere Meridianebene, in zwei Seiten geteilt ist, und der zumindest eine Wurzelabschnitt vollständig auf einer der beiden Seiten der aufgespannten Meridianebene angeordnet ist. Hierauf beziehen sich in der vorliegenden Beschreibung auch die Formulierungen "seitlich zu der Strebe" beziehungsweise "auf/an einer Seite der Strebe". Hierdurch wird überraschenderweise die Ausbildung eines dünnen Abschnitts des Fillets vor der Vorderkante und hinter der Hinterkante der Strebe ermöglicht, obwohl dort die größten Spannungen auftreten und diese Stellen üblicherweise mit einer höheren Masse ausgestattet wurden.

[0032] In einer vorteilhaften achten ergänzenden Ausführungsform ist vorgesehen, dass zumindest auf jeder der beiden Seiten eine Mehrzahl Wurzelabschnitte insbesondere mindestens drei Wurzelabschnitte, besonders bevorzugt vier Wurzelabschnitte, angeordnet sind, dass insbesondere ein erster Wurzelabschnitt der Mehrzahl Wurzelabschnitte auf einer Seite der Trennebene und ein zweiter Wurzelabschnitt der Mehrzahl Wurzelabschnitte auf einer anderen Seite der Trennebene, insbesondere symmetrisch zu dem ersten Wurzelabschnitt, angeordnet ist und/oder dass ein dritter Wurzelabschnitt der mehreren Wurzelabschnitte auf einer Seite der Trennebene und ein vierter Wurzelabschnitt auf einer anderen Seite der Trennebene, insbesondere symmetrisch zu dem dritten Wurzelabschnitt, angeordnet ist. Hierdurch kann ein Großteil des Kraftflusses und damit der auftretenden Spannungen auf einfache Weise in den seitlichen Bereich der Strebe und des Fillets gelegt werden, was die Belastungen in einem vorderen und hinteren Teil der Strebe vorteilhaft reduziert.

[0033] Das Fillet kann in einer neunten Ausführungsformen ferner bevorzugt so ausgebildet sein, dass zumindest eine gerade Anzahl Wurzelabschnitte als Wurzelabschnittspaare auf jeder der beiden Seiten angeordnet sind, insbesondere dass die beiden Wurzelabschnitte jedes Wurzelabschnittspaares symmetrisch zu der aufgespannten Meridianebene angeordnet und/oder zueinander einen Winkel zwischen 20° und 160° aufweisen. Die beiden Wurzelabschnitte jedes Wurzelabschnittspaares sind dabei bevorzugt auf ähnlicher Höhe in Axialrichtung seitlich der Strebe angeordnet, so dass vorteilhaft ein ausgeglichener Spannungszustand erreicht wird. Insbesondere sind die beiden Wurzelabschnitte jedes Wurzelabschnittspaares symmetrisch zu der aufgespannten Meridianebene angeordnet.

[0034] Ferner ist in einer bevorzugten Weiterbildung der Wurzelabschnitt derart ausgebildet, dass sich der Wurzelabschnitt zumindest einmal verzweigt und mehrere Wurzelunterabschnitte bildet. So können Bereiche größerer Spannungen in einem frühen Konstruktionszustand nachgebildet bzw. umgeben werden, was nach Iterationen zu einer besseren Lösung des Kraftflusses führen kann.

[0035] In einer Ausführung sind auf dem Fillet mindestens oder genau drei oder mindestens oder genau vier jeweils durch einen Wulst mit einem Kamm gebildete Wurzelabschnitte, jeweils verzweigt oder unverzweigt, angeordnet, die jeweils von der Strebe zu dem Wandelement verlaufen, wobei mindestens zwei um die Strebe herum aufeinander folgende, insbesondere jeweils zwei um die Strebe herum aufeinander folgende, der drei bzw. vier Wurzelabschnitte unter einem Winkel im Bereich von 80° bis 170° zueinander verlaufen.

[0036] In einer Ausführung ist die Strebe an einem dem Ende gegenüberliegenden Ende integral mit einem weiteren Wandelement verbunden und zur Lastübertragung zwischen dem Wandelement und dem weiteren Wandelement ausgebildet, bestimmt und/oder geeignet.

[0037] Eine Gasturbine, insbesondere ein Flugtriebwerk, kann erfindungsgemäß eine oder mehrere oben beschriebenen Verbindungsstruktur aufweisen. Die Verbindungsstruktur kann in einem Eintritts-, Austritts- oder Zwischengehäuse im Verdichter- oder Turbinenbereich, z.B. in einem Turbinenzwischengehäuse eines Flugtriebwerks, und/oder in einem Lagerbereich angeordnet sein. In einer Ausführung ist die Verbindungsstruktur in einem Lagerdichtungsgehäuse eines Turbinenzwischengehäuses angeordnet.

[0038] Eines der beiden Wandelemente kann nabenseitig eines Strömungskanals der Gasturbine und das andere der beiden Wandelemente kann nabenseitig oder gehäuseseitig des Strömungskanals angeordnet sein.

[0039] Eines oder beide der Wandelemente können jeweils Teil eines in Umfangsrichtung segmentierten oder unsegmentierten, integralen, nicht unterbrochenen Rings sein.

[0040] Die Strebe(n) können zur Lastübertragung zwischen einem ersten und einem zweiten Statorbauteil ausgebildet, bestimmt und/oder geeignet sein, wobei eines der beiden Statorbauteile nabenseitig eines Strömungskanals der Gasturbine und das andere der beiden Statorbauteile nabenseitig oder gehäuseseitig des Strömungskanals angeordnet sein kann.

[0041] Zur Beschreibung der in den Gasturbinen oder Flugtriebwerken vorkommenden Geometrien werden drei Hauptrichtungen und mit diesen zusammenfallende Hauptachsen definiert. Die erste Hauptrichtung verläuft in Richtung der Triebwerksdrehachse und wird auch als Triebwerks längs- oder Axialachse bezeichnet, die in Axialrichtung oder axialer Richtung verläuft. Durch die erste Hauptrichtung wird ein Vorne und ein Hinten der jeweils betrachteten Geometrie festgelegt, wobei bezogen auf Gasturbinen vorne der Eintritt und hinten der Austritt des Strömungsgases erfolgt. Die zweite Hauptrichtung verläuft entlang einer auf der Triebwerksdrehachse senkrecht stehenden Richtung und wird auch

als Radialachse bezeichnet, die in Radialrichtung oder radialer Richtung verläuft. Durch die zweite Hauptrichtung wird ein Außen und ein Innen des Triebwerks bestimmt, wobei die Triebwerksachse innen liegt und die Radialrichtung von der Triebwerkslängsachse nach außen gerichtet ist. Die dritte Hauptrichtung verläuft in Umfangsrichtung der Gasturbine senkrecht zu den beiden anderen Hauptrichtungen. Die drei Hauptrichtungen der Gasturbine bestimmen zusammen

drei Arten von Hauptebenen: Meridianebenen, die von der Axialachse und jeweils einer Radialachse aufgespannt sind; Umfangsebenen, die auf einer Zylindermantelfläche mit einem bestimmten Radius beabstandet um die Drehachse liegen; Querschnittsebenen des Triebwerks, die normal zu der Triebwerkslängsachse angeordnet sind.

[0042] Die Erfindung wird bezüglich der nachfolgenden Zeichnungen anhand einiger bevorzugter Ausführungsbeispiele, insbesondere durch weitere Vorteile und Merkmale, näher erläutert.

- Fig. 1 zeigt zur Übersicht eine schematisch dargestellte Gasturbine in einer Seitenansicht mit einem ersten Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Verbindungsstruktur
- Fig. 2 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Verbindungsstruktur in einer Aufsicht
- Fig. 3 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Verbindungsstruktur in einer Aufsicht
- Fig. 4 zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Verbindungsstruktur in einer Vorderansicht
- Fig. 5 zeigt in einer Ansicht von oben Beispiele möglicher Lagen und Ausführungsformen des Wurzelabschnitts anhand einer schematischen Zeichnung
- Fig. 6a, 6b und 6c zeigen jeweils weitere bevorzugte Ausführungsbeispiele mit unterschiedlichen lokal höchsten Belastungspositionen relativ zu den Wurzelabschnitten
- Fig. 7 zeigt ein beispielhaftes Schema eines das Fillet beschreibenden Gitters

[0043] Fig. 1 zeigt zur Übersicht eine schematisch dargestellte Gasturbine 1, die als Flugtriebwerk ausgebildet ist, mit einem Turbinenzwischengehäuse 2 und ein demgegenüber vergrößert dargestelltes Lagerdichtungsgehäuse 3, in dem ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Verbindungsstruktur 10 angeordnet ist. Die Gasturbine 1 sowie ihre Komponenten und Elemente können über die drei Hauptrichtungen der Gasturbine, nämlich die Axialrichtung Ax, die mit der Drehachse der Gasturbine zusammenfällt, die Radialrichtung R, die senkrecht auf der Drehachse angeordnet ist und von innen nach außen verläuft, und die Umfangsrichtung U um die Drehachse in Drehrichtung definiert werden.

[0044] Die Verbindungsstruktur 10 weist eine Strebe 20 sowie ein unteres Wandelement 30 und ein oberes Wandelement 30' auf, wobei die beiden Wandelemente 30, 30' durch ein jeweiliges stetig ausgebildetes unteres Fillet 40 und ein oberes Fillet 40' mit der Strebe 20 verbunden sind. Die Wandelemente 30, 30' erstrecken sich in Umfangsrichtung U zylinderförmig. Die Fillets 40, 40' umgeben die Strebe 20 und gehen in das entsprechende Wandelement 30, 30' über. Die Strebe 20 weist eine Längsachse L parallel zu ihrer Längserstreckung auf. Die Strebe 20 und ihre Längsachse L können in alternativen Ausführungsformen auch schräg nach vorne, hinten und/oder zur Seite gekippt zu dem Wandelement 30 und der Axialrichtung Ax angeordnet sein. Das untere Wandelement 30 weist eine nach außen gewölbte, konvexe Oberfläche auf, das obere Wandelement 30' hingegen eine nach innen gewölbte, konkave Oberfläche.

[0045] Auf den beiden Fillets 40, 40' sind erfindungsgemäß jeweils Wurzelabschnitte 50, 50' vorgesehen, so dass in diesen Bereichen die Steifigkeit der Fillets 40 erhöht ist.

[0046] Die Linie II-II zeigt die Lage der in Fig. 2 und Fig. 3 verwendeten Aufsicht.

[0047] Fig. 2 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Verbindungsstruktur 10 in einer Aufsicht, wobei eine elliptische Strebe 20, ein rechteckiges Wandelement 30 und ein die Strebe 20 und das Wandelement 30 integral verbindendes Fillet 40 dargestellt sind. Die Strebe 20 ist als Vollkörper ausgebildet. Das Fillet 40 umgibt die Strebe 20 und ein bandförmiger Verlauf der Oberfläche 45 des Fillets 40 von der Strebe 20 zu dem Wandelement 30 ist anhand mehrerer gestrichelt dargestellter Umfangslinien h_1 bis h_x gezeigt, wobei die innerste Umfangslinie h_1 die dem Betrachter nächste Umfangslinie und die äußerste Umfangslinie h_x die dem Betrachter fernste Umfangslinie ist. Dazwischen sind die weiteren Umfangslinien h_2 bis h_{x-1} in sich für den Betrachter entfernender Reihenfolge von innen nach außen angeordnet. Dabei ist ein innerer Rand 42 des Fillet 40, der die Strebe 20 und das Fillet 40 abgrenzt, gleichzeitig die erste Umfangslinie h_1 . Die äußerste Umfangslinie h_x ist gleichzeitig der zweite Rand 43 des Fillets 40 und grenzt an das Wandelement 30 an. Die Oberfläche 45 des Fillets 40 geht an dem ersten Rand 42 tangential in eine Strebenoberfläche 25 und an dem zweiten Rand 43 tangential in eine Wandelementoberfläche 35 über. Die Strebe 20 weist eine Axialrichtung Ax und Querrichtung Q auf, wobei die Axialrichtung Ax mit der ersten Hauptrichtung der Gasturbine 1 zusammenfällt. Auf der Axialrichtung Ax verlaufen entlang der Strebe 20 eine Vorderkante 22 und eine Hinterkante 23 der Strebe 20.

[0048] Die Verbindungsstruktur 10 und damit das Fillet 40 wird von einer Meridianebene E in zwei Seiten 44, 46 geteilt. Vier durch jeweils einen Wulst 56 gebildete Wurzelabschnitte 50 sind zueinander paarweise auf beide Seiten 44, 46 des Fillets 40 aufgeteilt angeordnet, wobei ein Paar in einem vorderen und ein Paar Wurzelabschnitte 50 in einem

hinteren Bereich des Fillets 40 vorgesehen ist.

[0049] Die Wulste 56 weisen jeweils einen Kamm 51 auf, der durch gepunktete Linien eingezeichnet ist. Die Wurzelabschnitte 50 bilden an ihren dem Wandelement 30 zugewandten Ende jeweils eine Ausbuchtung 41 aus, die das Fillet 40 in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel auf der Oberfläche 35 des Wandelements 30 um 100% verbreitert. Hierdurch wird ein Kraftfluss vorteilhaft in den seitlichen Bereich der Verbindungsstruktur 10 verlagert.

[0050] Der Kamm 51 verläuft entlang von Linien, die jeweils Linien zwischen aneinandergereihter Punkte mit maximaler Krümmung der Umfangslinien h und damit - wie weiter unten noch erläutert wird - erhöhter Streckung S_R sind. Nach außen hin sind die Wurzelabschnitte 50 dabei stärker gestreckt als innen, so dass vorteilhaft eine Spannung in den dem Wandelement 30 nahen Bereichen der Wurzelabschnitte 50 verlagert ist.

[0051] Eine Verlaufsrichtung L_R des Kamms 51 bildet mit der Querrichtung Q der Strebe 20 einen Wurzelwinkel α_{QL} , der in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel 20° beträgt. Es kann günstig sein, den Wurzelwinkel α_{QL} zu variieren. In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist der Wurzelwinkel α_{QL} konstant.

[0052] Beispielfhaft ist eine sich entlang einer Umfangslinie h_2 quer zu dem Kamm 51 erstreckende Wurzelbreite B_R der Wurzelabschnitte 50 eingezeichnet und zwar zwischen den zwei zu dem Kamm 51 benachbarten Punkten maximaler Krümmung 56 auf der Umfangslinie h_2 . Weitere Wurzelbreiten B_R können für jeden Wurzelabschnitt 50 und entlang der übrigen Umfangslinien h_3 bis h_x definiert werden. Die Wurzelabschnitte 50 sind in dem dargestellten Beispiel an der Strebe 20 in einem Ausgangspunkt 53, das heißt der Umfangslinie h_1 minimal klein. Der Ausgangspunkt 53 des Wurzelabschnitts 50 muss nicht auf dem ersten Rand 42 liegen. Die Wurzelbreiten B_R entlang eines Kamms 51 bilden zusammen genommen und verbunden eine Oberfläche 55 des entsprechenden Wurzelabschnitts 50 und bilden darüber hinaus zusammen genommen an ihren Enden Wurzelgrenzlinien 52, die als Strich-Punkt-Linien dargestellt sind. An einer Spitze 54 des Wurzelabschnitts 50 wird die Breite B_R des Wurzelabschnitts 50 minimal. Die Spitze 54 des Wurzelabschnitts 50 weist einen auf das Wandelement 30 projizierten maximalen Abstand eines Punktes auf dem Fillet 40 zu der Strebe 20 auf. In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel fallen eine Spitze 54 des Wurzelabschnitts 50 und eine Spitze 41 einer Ausbuchtung des Fillets 40 zusammen.

[0053] Eine Filletbreite des Fillets 40 kann anhand von aneinandergereihter Filletbreitenlinien B_F definiert sein. Entlang des Kamms 51 liegt eine höhere Streckung S_R vor als entlang der Filletbreitenlinien B des Fillets 40, die ebenfalls eine maximale Krümmung, aber keinen Wurzelabschnitt aufweisen. Solche Filletbreitenlinien B aus Punkten maximaler Krümmungen der Umfangslinien werden der Einfachheit halber reguläre Extremlinien $B_{F,max}$ genannt und sind in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel aufgrund einer elliptischen Form der Strebe 20 in Axialrichtung A_x vor und hinter der Strebe 20 angeordnet. Die Strebe 20 weist als eine Basisform eine Ellipse auf, die an den Scheitelpunkten ihrer Hauptachse zwei Punkte maximaler Krümmung aufweist. Diese Kontur wird an das Fillet 40 weitergegeben und entlang der Breite B des Fillets 40 beibehalten, so dass sich an den von diesen Punkten ausgehenden Filletbreitenlinien die regulären Extremlinien $B_{F,max}$ ergeben. In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel konnte die Kontur an dieser Stelle vorteilhaft aufgrund der Wurzelabschnitte 50 und der damit in dem Seitenbereich seitlich der Meridiane Ebene E erhöhten Steifigkeit gestaucht werden, so dass sich annähernd die gleiche Streckung einstellt wie entlang der Filletbreitenlinien B ausgehend von den Scheitelpunkten der Nebenachse der Ellipse der Strebe 20. Mitunter konnte die Krümmung an diesen Stellen reduziert werden, was sich vorteilhaft auf die auftretenden Spannungen auswirkt.

[0054] Die Streckung S_R der Wurzelabschnitte 50 ist gegenüber einer Streckung S außerhalb der Wurzelabschnitte, insbesondere dieser regulären Extremlinien $B_{F,max}$ erhöht, und zwar vorliegend um den Faktor 2. Diese Größe ergibt sich aus der erhöhten Streckung S_R entlang des Kamms 51 und der reduzierten Streckung entlang der regulären Extremlinien $B_{F,max}$. Dadurch wird vorteilhaft ein Kraftfluss im Bereich der Wurzelabschnitte 50 erhöht und eine Spannung im Bereich der Vorderkante 22 sowie der Hinterkante 23 der Strebe 20 verringert.

[0055] Fig. 3 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Verbindungsstruktur. Das dritte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich gegenüber dem zweiten Ausführungsbeispiel darin, dass jeweils paarweise drei zueinander benachbarte Wurzelabschnitte 50 seitlich der Meridiane Ebene E angeordnet sind. Weiterhin ist die Strebe 20 eine Hohlstrebe.

[0056] Fig. 4 zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel einer Verbindungsstruktur 10. Entlang der parallel zu der Radialrichtung R verlaufenden Vorderkante 22 der Strebe 20 lässt sich mittels eines Schnittpunkts S der Vorderkante 22 mit dem ersten Rand 42 und der Axialrichtung A_x eine Meridiane Ebene E definieren, die die Verbindungsstruktur 10 und damit das Fillet 40 in zwei Seiten teilt. Auf beiden Seiten des Fillets 40 sind jeweils zwei Wurzelabschnitte 50 ausgebildet, die die Steifigkeit der Verbindungsstruktur 10 positiv, das heißt im Sinne geringerer Materialanforderungen an den Bereich um die Vorderkante 22 beeinflussen. Die Wurzelabschnitte 50 sind zu der Meridiane Ebene E paarweise symmetrisch angeordnet.

[0057] Die Wurzelabschnitte 50 haben einen entlang der Umfangslinien h konvexen Höhenverlauf. In der Nähe der Strebe 20 laufen die Wurzelabschnitte 50 aus und gehen mit dem Fillet 40 tangential in die Strebe 20 über.

[0058] Eine Umfangslinie h_{max} mit einer größten Krümmung entlang sämtlicher die Umfangslinie h_{max} schneidenden Filletbreitenlinien B des Fillets 40 teilt das Fillet 40 in einen ersten und zweiten Filletteil 40a, 40b. Dabei ist eine Streckung des dem Wandelements näheren zweiten Filletteils 40b entlang der Breitenlinien B größer als eine Streckung des der

Strebe 20 näheren ersten Filletteils 40a. Mit anderen Worten, der dem Wandelement 30 zugewandte Filletteil 40b ist vorteilhaft flacher und breiter ausgebildet als der der Strebe 20 zugewandte erste Filletteil 40a. Hierdurch ist die Steifigkeit in dem zweiten Übergangsteilbereich 40b vorteilhaft erhöht, so dass Material an der Vorderkante 22 der Strebe 20 bzw. in dem Fillet 40 eingespart werden kann.

[0059] Fig. 5 zeigt eine schematische Ansicht von oben auf eine Verbindungsstruktur 10 mit verschiedenen beispielhaften Ausgestaltungen des Wurzelabschnitts 50. Eine Meridianebene E, die von einer Axialrichtung Ax und einer Vorderkante 22 der Strebe 20 aufgespannt wird, teilt die Verbindungsstruktur 10 in zwei Seiten. Beginnend im Uhrzeigersinn von der Zwölf-Uhr-Position sind folgende Ausgestaltungen gezeigt, wobei jeder der Wurzelabschnitte an jeder Position angeordnet werden kann:

- 50a ein vorne, seitlich rechts angeordneter Wurzelabschnitt, der an seinem dem zweiten Rand 42 zugewandten Ende 53 eine Vielzahl von Verzweigungen in eine Vielzahl von Wurzelunterabschnitten aufweist
- 50b ein seitlich, vorne, rechts angeordneter von dem ersten Rand 42 zu dem zweiten Rand 43 verlaufender Wurzelabschnitt
- 50c ein seitlich, mittig, rechts angeordneter von dem ersten Rand 42 zu dem zweiten Rand 43 verlaufender Wurzelabschnitt
- 50d ein seitlich, hinten, rechts angeordneter von dem ersten Rand 42 und dem zweiten Rand 43 beabstandeter Wurzelabschnitt
- 50e zwei hinten, seitlich, rechts angeordnete, getrennte Wurzelabschnitte, die sich beide entlang einer Breitenlinie i zwischen dem ersten Rand 42 und dem zweiten Rand 43 erstrecken
- 50f ein hinten, seitlich, links angeordneter Wurzelabschnitt, der von dem ersten Rand 42 zu dem zweiten Rand 43 verläuft
- 50g ein seitlich, hinten, links angeordneter Wurzelabschnitt, der in Richtung des zweiten Randes 43 zwei Wurzelunterabschnitte 59 aufweist
- 50h ein seitlich, mittig, links angeordneter von dem ersten Rand 42 zu dem zweiten Rand 43 verlaufender Wurzelabschnitt
- 50i ein seitlich, vorne, links angeordneter von dem ersten Rand 42 zu dem zweiten Rand 43 verlaufender Wurzelabschnitt
- 50j ein vorne, seitlich, links angeordneter Wurzelabschnitt, der zu dem ersten Rand 42 beabstandet ist und bis zu dem zweiten Rand 43 verläuft

[0060] Die Wurzelabschnitte 50b und 50h sowie 50c und 50g bilden Wurzelabschnittspaare, die zueinander symmetrisch zu der Meridianebene E angeordnet sind.

[0061] In den Fig. 6a bis 6c sind Beispiele zu Belastungspositionen an bevorzugten Ausführungsbeispielen gezeigt.

[0062] In Fig. 6a sind in einem vierten bevorzugten Ausführungsbeispiel zwei lokal höchste Belastungspositionen 61, 62 vorne und hinten im Bereich der Vorderkante 22 bzw. Hinterkante 23 der Strebe 20 aufgetreten und entsprechend gezeigt. Wurzelabschnitte 50 sind zu diesen lokal höchsten Belastungspositionen beabstandet angeordnet, und zwar seitlich zu der Strebe 20. Auf jeder Seite des Fillets 20 sind drei Wurzelabschnitte 50 vorgesehen, die zu den Wurzelabschnitten 50 auf der gegenüberliegenden Seite des Fillets 40 paarweise symmetrisch angeordnet sind. Die Strebe 20 ist eine Hohlstrebe.

[0063] In Fig. 6b sind in einem fünften Ausführungsbeispiel gegenüber dem vierten Ausführungsbeispiel zusätzlich weitere lokal höchste Belastungspositionen 63 aufgetreten und entsprechend gezeigt. Hierbei handelt es sich um hohe Kerbspannungen im seitlichen Bereich der Strebe 20 bzw. des Fillets 40. Die Wurzelabschnitte 50 sind im Wesentlichen mittig zwischen den Belastungspositionen 61 bis 63 angeordnet. Hierdurch wird vorteilhaft die stärkste Reduzierung der elastischen Verformung im Belastungsfall erreicht.

[0064] In Fig. 6c sind in dem sechsten Ausführungsbeispiel eine Vielzahl von lokal höchsten Belastungspositionen 64, 65 in einem dem Wandelement 30 zugewandten Bereich des Fillets 40 aufgetreten und entsprechend gezeigt. Eine jeweilige Verzweigung des Wurzelabschnitts 50 in Wurzelunterabschnitte 59 ist in diesem Fall die bevorzugte Lösung zur Reduzierung der elastischen Verformung an bzw. um diesen Belastungspositionen 64, 65. Es kann sein, dass die lokal höchsten Belastungspositionen 64, 65 unterschiedlich starke elastische Verformungen erwarten lassen, entsprechend sind erhöhten Steifigkeiten der Wurzelabschnitte 50 an diese Belastungsfälle angepasst, insbesondere die Streckung, eine Höhe der Wulst 56 und/oder eine Verdickung der Wurzelabschnitte 50. Beispielsweise kann die lokale Belastungsposition 65 in einem Eckbereich des Fillets 40 eine größere elastische Verformung erwarten lassen als die lokale Belastungsposition 64, die näher an der Strebe 20 liegt.

[0065] Es kann generell vorgesehen sein, dass die Streckung und/oder eine Verdickung der Wurzelabschnitte 50 und/oder der Wurzelunterabschnitte 59 proportional zur erwarteten elastischen Verformung an der nächstliegenden

Belastungsposition 61, 62, 63, 64, 65 ausgebildet ist.

[0066] Fig. 7 zeigt eine Frontansicht der Verbindungsstruktur mit einer Vielzahl die Verbindungsstruktur schneidender Querschnittsebenen Q_1 bis Q_x , die in der vorliegenden Abbildung normal zu der Längsachse L der Strebe 20 verlaufen. Weist die Längsachse L einen von einem rechten Winkel abweichenden Winkel zu dem Wandelement 30 auf, so bietet es sich an die Ausrichtungen der Querschnittsebenen Q_1 bis Q_x entsprechend zu korrigieren. Die Querschnittsebenen Q_1 bis Q_x schneiden das Fillet 40 und bilden an den Schnittkanten die Umfangslinien h_1 bis h_x . Alle benachbarten Umfangslinien weisen zueinander projiziert auf die Längserstreckung der Strebe 20 den gleichen projizierten Abstand 71 wie sämtliche anderen benachbarten Umfangslinien auf. Dieser projizierte Abstand 71 ist die Höhenabstufung 71 des Gitters. Die Größe einer Streckung S, S_R ist lokal zwischen zwei den Kamm 51 oder eine Filletbreitenlinie B_F schneidenden benachbarten Umfangslinien h definiert und berechnet sich aus der Wurzel einer Summe des Quadrats eines auf eine Umfangsebene projizierten Abstandes 72 zwischen zwei Schnittpunkten von zwei entlang einer Filletbreitenlinie B_F bzw. des Kamms 51 benachbarten Umfangslinien h und des Quadrats der Höhenabstufung 71.

Bezugszeichenliste

[0067]

1	Gasturbine
2	Turbinenzwischengehäuse
3	Lagerdichtungsgehäuse
10	Verbindungsstruktur
20	Strebe
22	Vorderkante der Strebe
23	Hinterkante der Strebe
25	Strebenoberfläche
30	Wandelement
35	Wandelementoberfläche
40	Fillet
40a	der Strebe zugewandtes erstes Filletteil
40b	dem Wandelement zugewandtes zweites Filletteil
41	Ausbuchtung
42	erster Rand
43	zweiter Rand
44	erste Seite des Fillets
45	Oberfläche des Fillets
46	zweite Seite des Fillets
50	Wurzelabschnitt
51	Kamm
52	Wurzelgrenzlinie
53	erstes Ende des Wurzelabschnitts
54	Spitze des Wurzelabschnitts
55	Oberfläche des Wurzelabschnitts,
56	Wulst
59	Wurzelunterabschnitt
61	lokal höchste Belastungsposition
62	lokal höchste Belastungsposition
63	lokal höchste Belastungsposition
64	lokal höchste Belastungsposition
65	lokal höchste Belastungsposition
Ax	Axialrichtung
R	Radialrichtung
U	Umfangsrichtung
S	Streckung des Fillets
B_F	Filletbreite
$B_{F,min}$	minimale Filletbreite

L_R Verlaufsrichtung des Kamm
 B_R Wurzelbreite
 S_R Wurzelstreckung

5

Patentansprüche

1. Verbindungsstruktur (10) zur Lastübertragung, insbesondere in einer Gasturbine (1), mit

10 einer Strebe (20) und
 zumindest einem Wandelement (30),
 wobei die Strebe (20) an einem Ende integral mit dem Wandelement (30) verbunden ist und wobei die Strebe
 (20) und das Wandelement (30) zumindest bereichsweise von einem Fillet (40) umgeben und mit diesem integral
 verbunden sind,
 15 **dadurch gekennzeichnet,**
dass auf dem Fillet (40) ein durch einen Wulst (56) mit einem Kamm (51) gebildeter Wurzelabschnitt (50)
 angeordnet ist, der von der Strebe (20) zu dem Wandelement (30) verläuft.

20 2. Verbindungsstruktur (10) gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wurzelabschnitt (50) das Fillet
 (40) auf einer Wandelementoberfläche (35) des Wandelements (30) um mindestens 5%, insbesondere 10% ver-
 breitet, und/oder dass der Wurzelabschnitt (50) das Fillet (40) auf der Strebenoberfläche (25) der Strebe (20) um
 mindestens 5%, insbesondere 10% verbreitet.

25 3. Verbindungsstruktur (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine
 Streckung (S_R) des Kamms (51) zwischen zwei benachbarten Umfangslinien (h) des Fillets (40) gegenüber einer
 Streckung (S) des Fillets (40) außerhalb des Wurzelabschnitts (50), insbesondere einer Streckung (S) an einer
 Wurzelgrenzlinie (52), zwischen den beiden Umfangslinien (h), insbesondere um mindestens 1% und höchstens
 um 5%, bevorzugt um mindestens 2% und höchstens 4%, vergrößert ist.

30 4. Verbindungsstruktur (10) gemäß Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Streckung (S_R) des Kamms (51)
 in einem dem Wandelement näheren Bereich des Wurzelabschnitts (50) größer ist als in einem der Strebe (20)
 näheren Bereich des Wurzelabschnitts (50).

35 5. Verbindungsstruktur (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der
 Kamm (51) eine Verlaufsrichtung aufweist und zu einer Querrichtung (Q) der Strebe (20) einen, insbesondere
 gemittelten, Wurzelwinkel (α_{QL}) aufweist, und wobei der Wurzelwinkel (α_{QL}) in einem Bereich von -80° bis $+80^\circ$,
 insbesondere im Bereich von -45° bis $+45^\circ$, besonders bevorzugt im Bereich von -30° bis $+30^\circ$, liegt.

40 6. Verbindungsstruktur (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass der Kamm (51) eine Verlaufsrichtung (L_R) aufweist, und dass der Wurzelab-
 schnitt (50) eine Wurzelbreite (B_R) aufweist und dass sich die Wurzelbreite (B_R) entlang einer Umfangslinie (h)
 des Fillets (40) in beide Richtungen quer zu der Verlaufsrichtung (L_R) des Kamms (51) erstreckt und in beide
 Richtungen zu jeweils einem Punkt maximaler Krümmung auf der Umfangslinie (h) reicht und dass sich die
 45 Wurzelbreite (B_R) über zumindest 10%, insbesondere mindestens 5%, besonders bevorzugt mindestens 3%,
 und höchstens 15%, insbesondere höchstens 20%, besonders bevorzugt höchstens 30% der Gesamtlänge
 der Umfangslinie (h) erstreckt und/oder
 dass sich die Wurzelbreite (B_R) über zumindest 10%, insbesondere mindestens 5%, besonders bevorzugt
 mindestens 3%, und höchstens 15%, insbesondere höchstens 20%, besonders bevorzugt höchstens 30% einer
 50 Gesamtlänge des Kamms (51) der Wulst (56) des Wurzelabschnitts (50) erstreckt und/oder
 dass die Wurzelbreite (B_R) zumindest entlang von 70% einer Gesamtlänge des Kamms (51) einen Verlauf
 aufweist, der sich um weniger als 5% ändert.

55 7. Verbindungsstruktur (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wur-
 zelabschnitt (50) von einer lokal höchsten Belastungsposition (61, 62, 63) an der Strebe (20), an dem Wandelement
 (30) oder an dem Fillet (40) beabstandet angeordnet ist, insbesondere von einer lokal höchsten Belastungsposition
 (61) in Axialrichtung (Ax) vor einer Vorderkante (22) der Strebe (20) und/oder von einer lokal höchsten Belastungs-
 position (62) in Axialrichtung (Ax) hinter einer Hinterkante (23) der Strebe (20).

8. Verbindungsstruktur (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Fillet (40) durch eine Trennebene (E), insbesondere Meridianebene (E), in zwei Seiten (44, 46) geteilt ist, und der zumindest eine Wurzelabschnitt (50) vollständig auf einer der beiden Seiten (44, 46) der Trennebene (E) angeordnet ist.

9. Verbindungsstruktur (10) gemäß Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest auf jeder der beiden Seiten (44, 46) eine Mehrzahl Wurzelabschnitte (50) insbesondere mindestens drei Wurzelabschnitte (50), besonders bevorzugt vier Wurzelabschnitte (50), angeordnet sind, dass insbesondere ein erster Wurzelabschnitt (50) der Mehrzahl Wurzelabschnitte (50) auf einer Seite (44) der Trennebene (E) und ein zweiter Wurzelabschnitt (50) der Mehrzahl Wurzelabschnitte (50) auf einer anderen Seite (46) der Trennebene (E), insbesondere symmetrisch zu dem ersten Wurzelabschnitt (50), angeordnet ist und/oder dass ein dritter Wurzelabschnitt (50) der mehreren Wurzelabschnitte (50) auf einer Seite (44) der Trennebene (E) und ein vierter Wurzelabschnitt (50) auf einer anderen Seite (46) der Trennebene (E), insbesondere symmetrisch zu dem dritten Wurzelabschnitt (50), angeordnet ist.

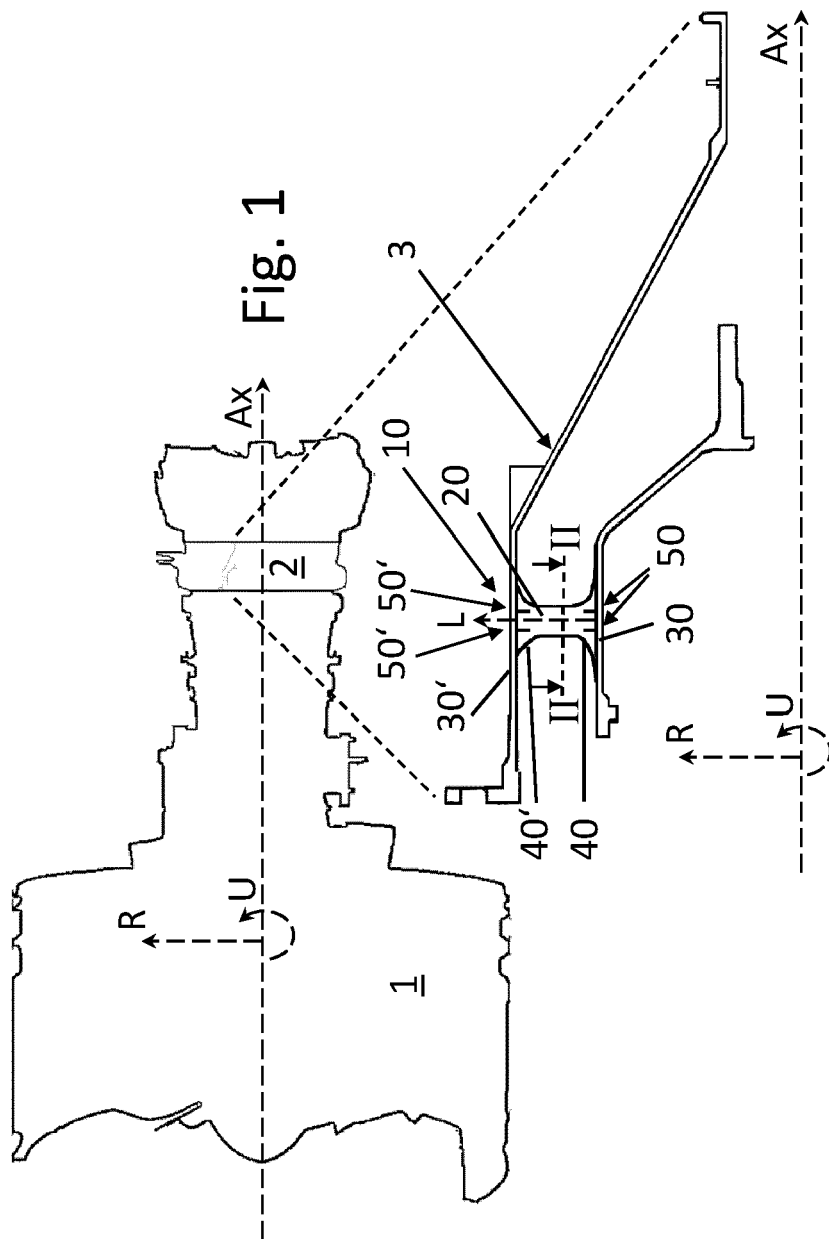
10. Verbindungsstruktur (10) gemäß einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine gerade Anzahl Wurzelabschnitte (50) als Wurzelabschnittspaare auf jeder der beiden Seiten (44, 46) angeordnet sind, insbesondere dass die beiden Wurzelabschnitte (50) jedes Wurzelabschnittspaares symmetrisch zu der aufgespannten Meridianebene (E) angeordnet und/oder zueinander einen Winkel zwischen 20° und 160° aufweisen.

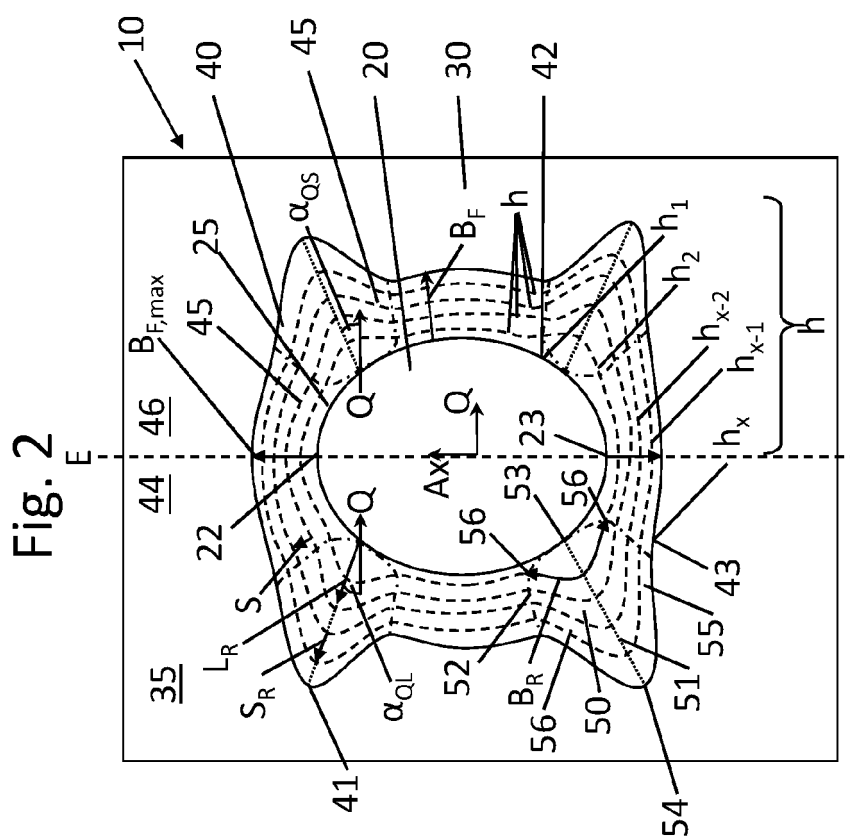
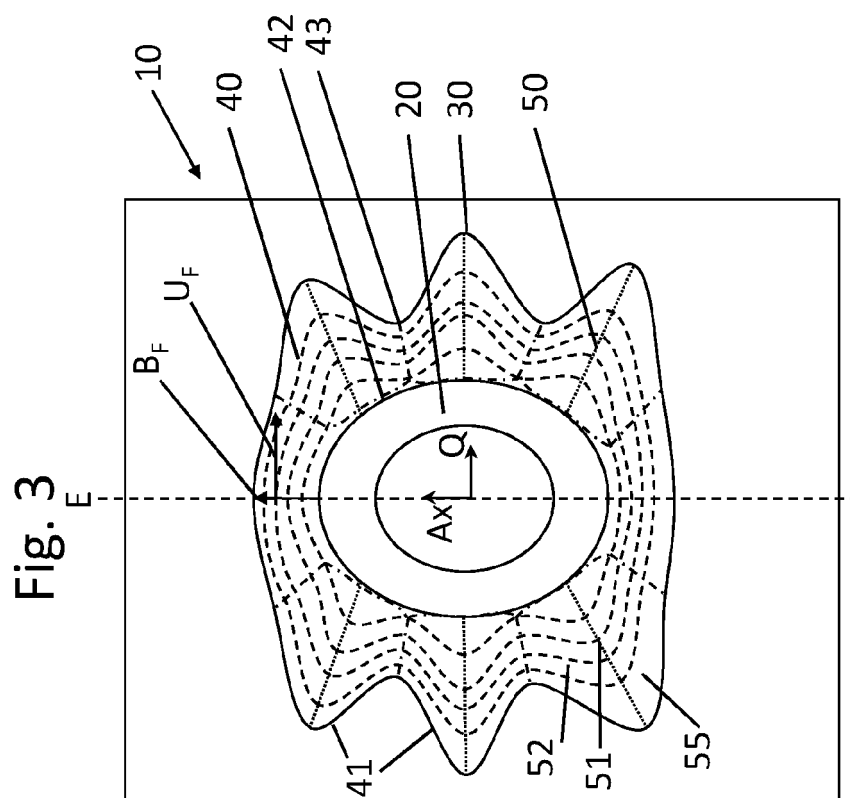
11. Verbindungsstruktur (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf dem Fillet (40) drei oder vier jeweils durch einen Wulst (56) mit einem Kamm (51) gebildete Wurzelabschnitte (50) angeordnet sind, die jeweils von der Strebe (20) zu dem Wandelement (30) verlaufen, wobei mindestens zwei aufeinander folgende, insbesondere jeweils zwei aufeinander folgende, der drei bzw. vier Wurzelabschnitte (50) unter einem Winkel im Bereich von 80° bis 170° zueinander verlaufen.

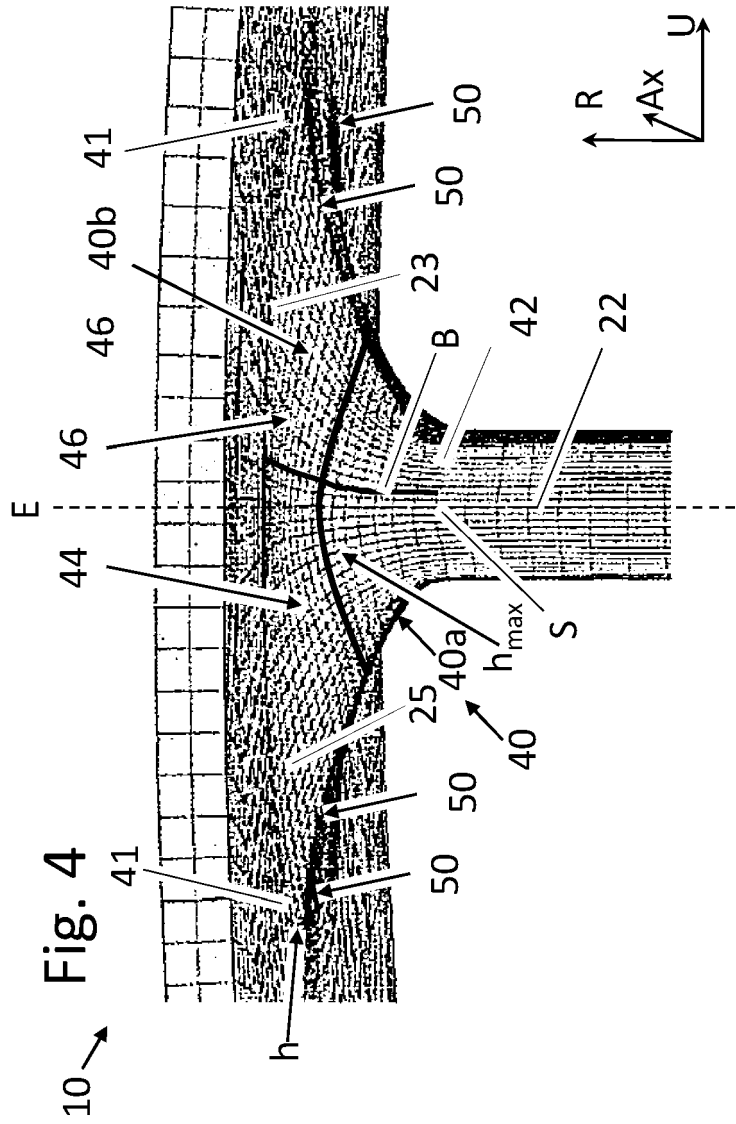
12. Verbindungsstruktur (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strebe (20) an einem dem Ende gegenüberliegenden Ende integral mit einem weiteren Wandelement verbunden ist und zur Lastübertragung zwischen dem Wandelement (30) und dem weiteren Wandelement ausgebildet, bestimmt und/oder geeignet ist.

13. Gasturbine (1), insbesondere Flugtriebwerk, die eine oder mehrere Verbindungsstrukturen nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Lastübertragung, insbesondere in einem Eintritts-, Austritts- oder Zwischengehäuse im Verdichter- oder Turbinenbereich und/oder in einem Lagerbereich aufweist, wobei insbesondere

- eines der beiden Wandelemente nabenseitig eines Strömungskanals der Gasturbine und das andere der beiden Wandelemente nabenseitig oder gehäuseseitig des Strömungskanals angeordnet ist,
- eines oder beide der Wandelemente jeweils Teil eines in Umfangsrichtung segmentierten oder unsegmentierten, integralen, nicht unterbrochenen Rings sind, und/oder
- die Strebe(n) zur Lastübertragung zwischen einem ersten und einem zweiten Statorbauteil ausgebildet, bestimmt und/oder geeignet ist bzw. sind, wobei eines der beiden Statorbauteile nabenseitig eines Strömungskanals der Gasturbine und das andere der beiden Statorbauteile nabenseitig oder gehäuseseitig des Strömungskanals angeordnet ist.







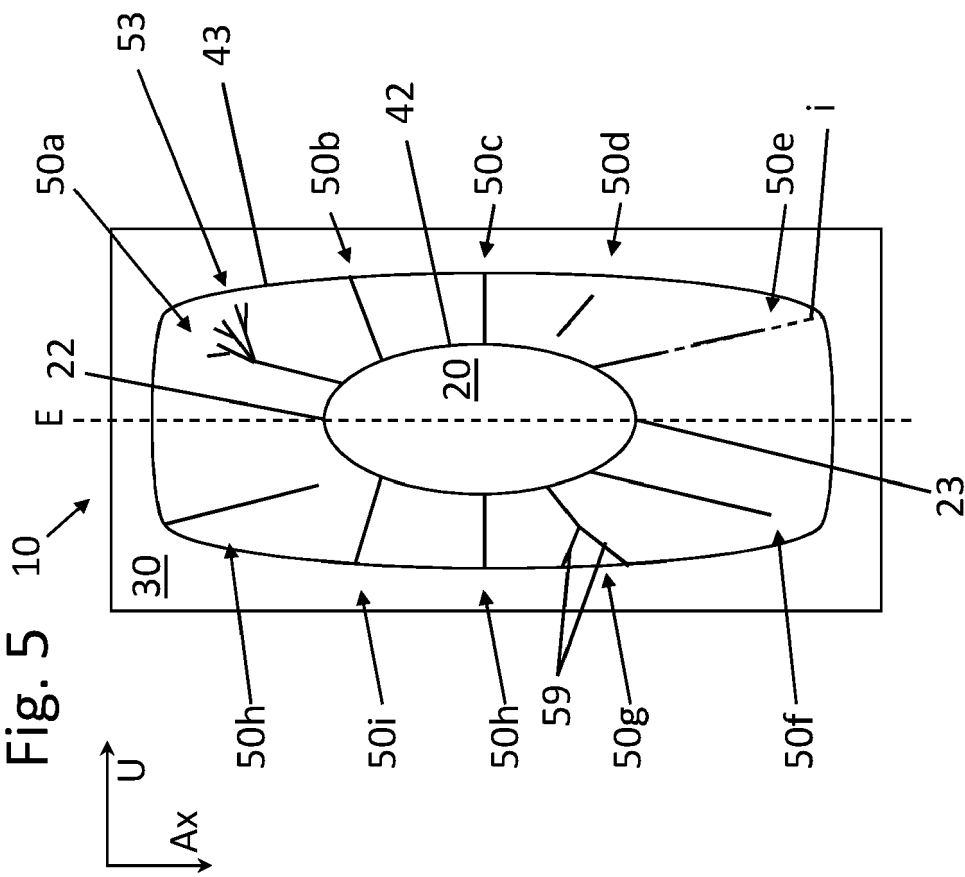


Fig. 6a

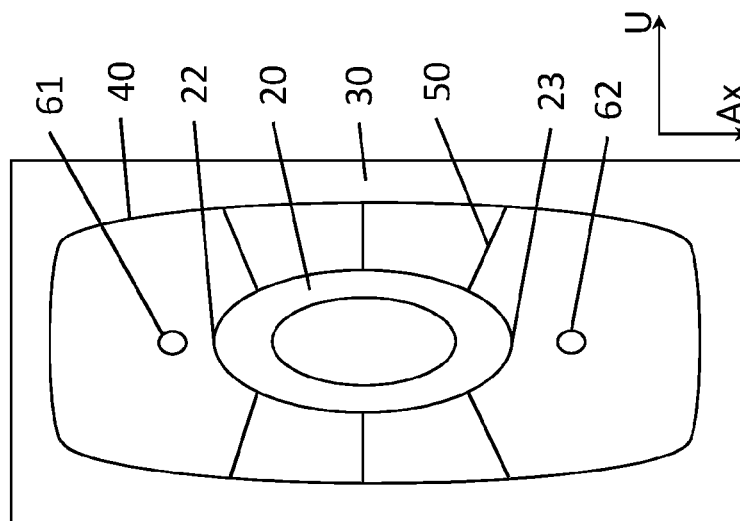


Fig. 6b

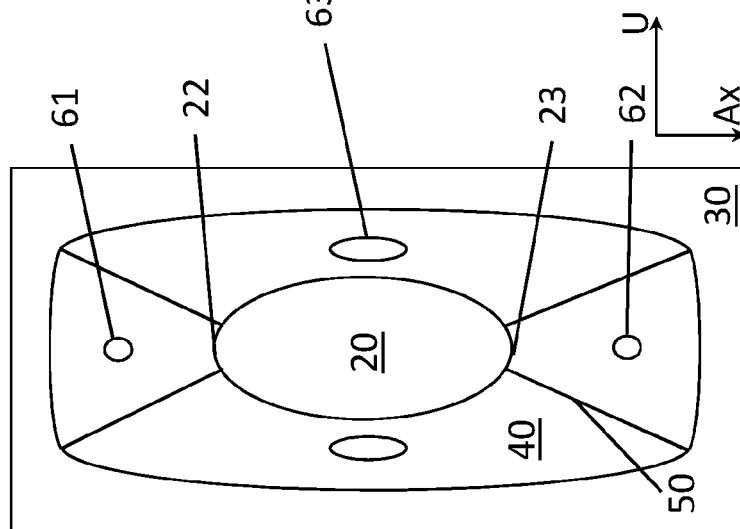
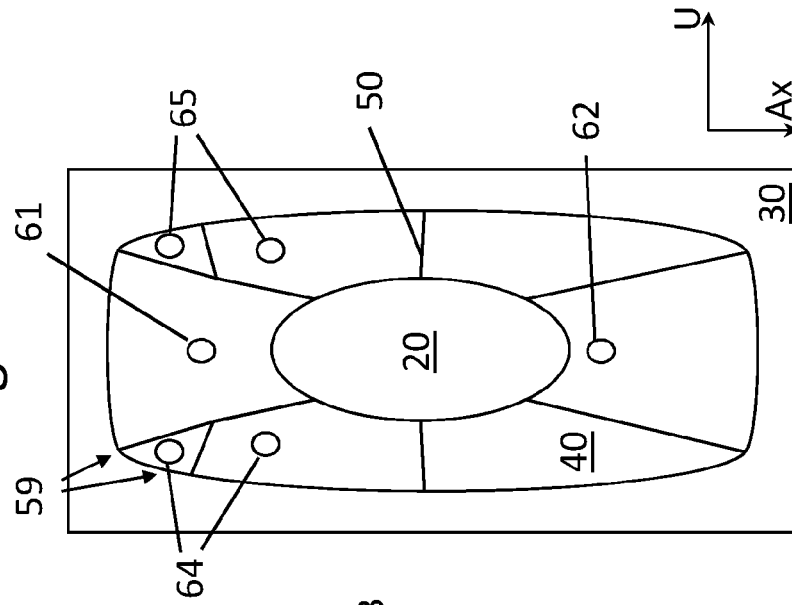


Fig. 6c



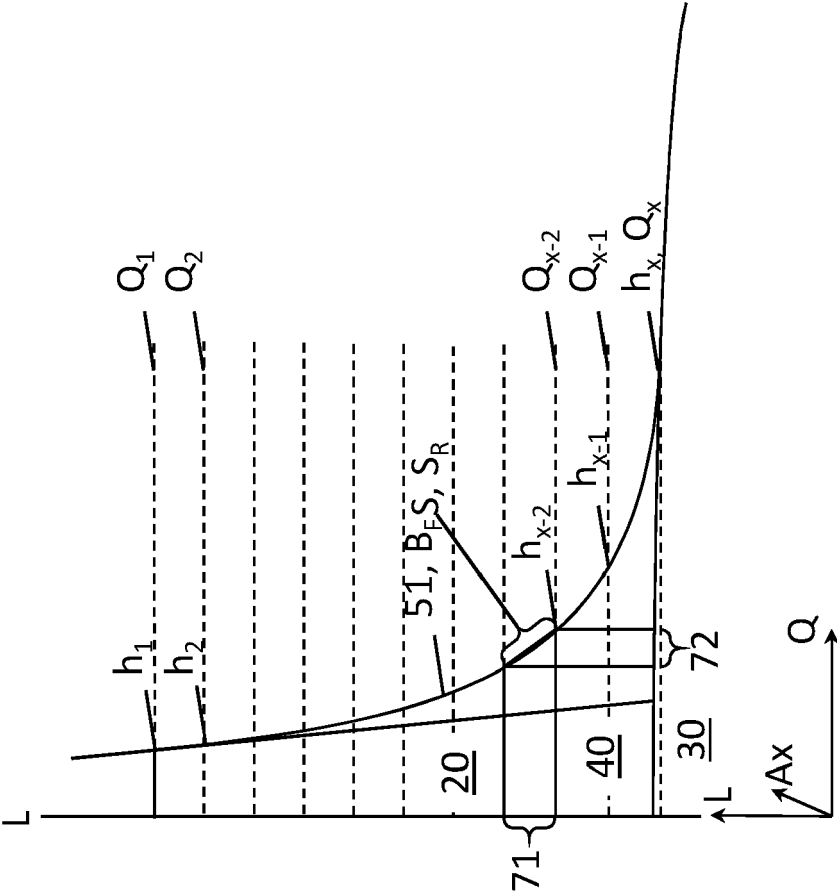


Fig. 7



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 15 0756

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 2020/123918 A1 (DUONG HIEN [CA] ET AL) 23. April 2020 (2020-04-23) * Seite 2, Absatz 20 - Seite 3, Absatz 37; Abbildungen 2-4, 5a, 5b * -----	1-8, 10-13	INV. F01D5/14 F01D9/04 F01D25/16 F01D25/30
X	US 9 982 548 B2 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 29. Mai 2018 (2018-05-29) * Spalte 6, Zeile 12 - Spalte 7, Zeile 54; Abbildung 3A * -----	1-4, 9-13	
A	US 2020/318495 A1 (KASSAB RABIH [CA]) 8. Oktober 2020 (2020-10-08) * Seite 3, Absatz 50 - Seite 4, Absatz 66; Abbildungen 2, 3 * -----	1-13	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 14. Juni 2023	Prüfer Rau, Guido
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 15 0756

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente 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.

14-06-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2020123918 A1	23-04-2020	CA 3055849 A1	19-04-2020
		US 2020123918 A1	23-04-2020
		US 2021372288 A1	02-12-2021
<hr/>			
US 9982548 B2	29-05-2018	EP 3022400 A1	25-05-2016
		JP 6126745 B2	10-05-2017
		JP 2016527431 A	08-09-2016
		US 2016123166 A1	05-05-2016
		WO 2015009418 A1	22-01-2015
<hr/>			
US 2020318495 A1	08-10-2020	CA 3077765 A1	08-10-2020
		EP 3722583 A1	14-10-2020
		US 2020318495 A1	08-10-2020
<hr/>			

EPO FORM P0461

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