(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 4 227 489 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
16.08.2023 Patentblatt 2023/33

(21) Anmeldenummer: **23151613.9**

(22) Anmeldetag: **13.01.2023**

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

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F01D 5/141; F01D 5/16; F01D 9/041;
F05D 2250/38; F05D 2260/96

(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

(30) Priorität: **11.02.2022 DE 102022103319**

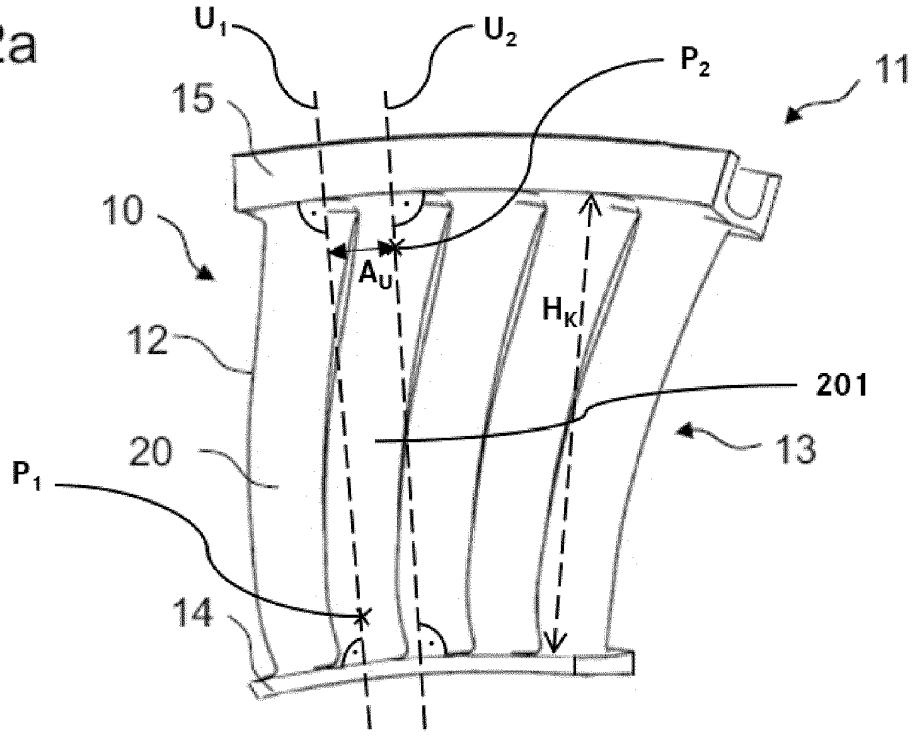
(71) Anmelder: **MTU Aero Engines AG**
80995 München (DE)

(72) Erfinder:
- **Kislinger, Bernd**
  80995 München (DE)
- **Brettschneider, Markus**
  80995 München (DE)
- **Korte, Detlef**
  80995 München (DE)
- **Wittig, Klaus**
  80995 München (DE)

(54) **LEITSCHAUFEL FÜR EINE STRÖMUNGSMASCHINE**

(57) Die Erfindung betrifft eine Leitschaufel (10) für eine Strömungsmaschine (1), insbesondere für ein Flugtriebwerk, mit einem Schaufelblatt (20) aufweisend eine Vorderkante (17) und eine Hinterkante (13), welche durch eine Saugseite und eine Druckseite (13) miteinander verbunden sind, wobei sich das Schaufelblatt (10) im Wesentlichen in radialer Richtung (R) zwischen einer inneren Plattform (14) und einer äußeren Plattform (15) erstreckt.

Fig. 2a



EP 4 227 489 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Leitschaufel für eine Strömungsmaschine, insbesondere für ein Flugtriebwerk, mit einem Schaufelblatt aufweisend eine Vorderkante und eine Hinterkante, welche durch eine Saugseite und eine Druckseite miteinander verbunden sind, wobei sich das Schaufelblatt im Wesentlichen in radialer Richtung zwischen einer inneren Plattform und einer äußeren Plattform erstreckt.

[0002] Eine Strömungsmaschine umfasst im Allgemeinen einen Verdichterabschnitt, einen Brennkammerabschnitt und einen Turbinenabschnitt. Der Verdichterabschnitt erhöht fortschreitend den Druck eines in die Strömungsmaschine eintretenden Arbeitsfluids und führt dieses komprimierte Arbeitsfluid dem Verbrennungsabschnitt zu. Das komprimierte Arbeitsfluid und ein Brennstoff vermischen sich innerhalb des Brennkammerabschnitts und verbrennen in einer Brennkammer, um Verbrennungsgase mit hohem Druck und hoher Temperatur zu erzeugen. Die Verbrennungsgase strömen von dem Brennkammerabschnitt in den Turbinenabschnitt, wo sie sich ausdehnen, um Arbeit zu verrichten.

[0003] Der Turbinenabschnitt umfasst mehrere Statorleitkränze mit Statorleitschaufeln, die innerhalb des Stroms der Verbrennungsgase positioniert sind. Ein Schaufelblatt einer solchen Leitschaufel erstreckt sich innerhalb eines Gaskanals von einer radial inneren Plattform nach radial außen zu einer radial äußeren Plattform . Eine betriebsbedingte Anregung von Schaufeln, insbesondere Leitschaufeln, zu Schwingungen kann nachteilige Auswirkungen haben, beispielsweise die Lebensdauer der betreffenden Bauteile reduzieren.

[0004] Um eine solche Anregung zu reduzieren sind geneigte Schaufelblätter von Schaufeln für Strömungsmaschinen bekannt. Eine Schaufel mit Umfangsneigung ist beispielsweise aus der DE 10 2018 202 888 A1 bekannt.

[0005] Hiervon ausgehend ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine verbesserte Leitschaufel für eine Strömungsmaschine vorzuschlagen, durch welche eine betriebsbedingte Anregung zu Schwingungen reduziert werden kann. Dies wird erfindungsgemäß durch die Lehre der unabhängigen Ansprüche erreicht. Vorteilhafte Ausführungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0006] Zur Lösung der Aufgabe wird eine Leitschaufel für eine Strömungsmaschine, insbesondere für ein Flugtriebwerk, insbesondere für eine Turbinenstufe, vorzugsweise schnelldrehenden und/oder Niederdruckturbinenstufe, eines Flugtriebwerks , vorgeschlagen, mit einem Schaufelblatt aufweisend eine Vorderkante und eine Hinterkante, welche durch eine Saugseite und eine Druckseite miteinander verbunden sind, wobei sich das Schaufelblatt im Wesentlichen in radialer Richtung zwischen einer inneren Plattform bzw. einem Innendeckbandsegment und einer äußeren Plattform bzw. einem Außendeckbandsegment erstreckt. In axialer Richtung der Strömungsmaschine auf die Hinterkante gesehen, verläuft die Hinterkante in Bezug auf die radiale Richtung radial außen an einer Umfangsposition, an welcher die Hinterkante auf die äußere Plattform trifft, zur Druckseite in einem ersten Winkel α geneigt, wobei der erste Winkel α zwischen der Hinterkante und einer Tangente an der äußeren Plattform an einem Übergang der äußeren Plattform zur Hinterkante zwischen 72° und 84°, vorzugsweise zwischen 74° und 82° , insbesondere zwischen 76° und 80° liegt. In axialer Richtung der Strömungsmaschine gesehen ist eine Verbindungsgerade durch die Profilschwerpunkte bei 0% und 10% einer sich radial nach außen erstreckenden Schaufelblatthöhe der Leitschaufel gegenüber einer radialen Richtung durch den Profilschwerpunkt bei 10% der Schaufelblatthöhe um maximal 10° geneigt. Eine Sichtkante der Vorderkante hat über die Schaufelblatthöhe bei einer Betrachtung in Umfangsrichtung einen bogenförmig gekrümmten Verlauf und ist radial außen und radial innen gegenüber der radialen Richtung geneigt.

[0007] Der erste Winkel α kann eine Translokation der Hinterkante und/oder der Vorderkante, insbesondere in ihrem Verlauf nach radial außen, gegenüber der radialen Richtung bewirken, wodurch eine Neigung in axialer Richtung der Strömungsmaschine bewirkt wird. Diese Neigung in axialer Richtung wird auch als "bow" der Leitschaufel bzw. des Schaufelblatts bezeichnet. Hierdurch kann wenigstens ein, insbesondere der äußeren Plattform zugewandter und/oder von der inneren Plattform beabstandeter, Abschnitt der Hinterkante und/oder Vorderkante in eine Richtung stromabwärts versetzt angeordnet sein, wodurch eine Reduzierung einer Schwingungsbelastung der Leitschaufel durch den Nachlauf einer stromaufwärts angeordneten Laufschaufelanordnung ermöglicht werden kann. Die Schaufelblatthöhe der Leitschaufel entspricht der Kanalhöhe in dem Bereich der Strömungsmaschine, in dem die Leitschaufel angeordnet ist.

[0008] Die Verbindungsgerade durch die Profilschwerpunkte verläuft insbesondere durch die Schwerpunkte von Querschnittsflächen des Schaufelblatts. Dadurch, dass diese Verbindungsgerade gegenüber der radialen Richtung) durch den Profilschwerpunkt bei 10% der Schaufelblatthöhe um maximal 10° geneigt ist, weist das Schaufelblatt bzw. die Leitschaufel eine Neigung in Umfangsrichtung der Strömungsmaschine, insbesondere in eine druckseitige Richtung, auf. Diese Neigung in Umfangsrichtung wird auch als "lean" der Leitschaufel bzw. des Schaufelblatts bezeichnet. Hierdurch kann eine Entkopplung bzw. eine reduzierte Anregung der nachlaufenden- und/oder vorlaufenden Laufschaufelreihe bzw. Laufschaufelanordnung und/oder der Leitschaufel selbst ermöglicht werden.

[0009] Es hat sich gezeigt, dass durch ein kombiniertes Neigen in Umfangs- und Axialrichtung die Anregung signifikant gegenüber einer ausschließlichen Neigung in Umfangsrichtung reduzieren lässt. Somit kann mit einer Leitschaufel bzw. einem Schaufelblatt, welche sowohl

einen "lean" als auch einen "bow" aufweist, ein vorteilhafter Kompromiss zwischen einer geringen Schwingungsanregung, einer günstigen Aerodynamik und Kompaktheit der Bauweise und insbesondere einer damit einhergehenden Gewichtsreduktion geschaffen werden.
Die Umfangsneigung in einem starken Maße nach radial außen zur Druckseite ermöglicht eine geringere Anregung der nach- und/oder vorlaufenden Laufschaufelreihe und gleichzeitig auch der Leitschaufel selbst, wobei durch die geringe Umfangsneigung radial innen die Verluste an der Leitschaufel im Nabenbereich verringert werden können, was aerodynamisch vorteilhaft ist.

[0010] Der bogenförmig gekrümmte Verlauf gestattet es, die Schwingbelastung der Leitschaufel durch den Nachlauf des stromaufwärtigen Laufgitters aufgrund von Versatz der Vorderkante nach stromabwärts auf einem Großteil der radialen Erstreckung zu reduzieren und gleichzeitig den axialen Abstand zum stromaufwärts benachbarten Laufschaufelkranz an den Aufhängepunkten radial innen und außen gering zu halten. Dies ermöglicht eine platz- und gewichtsparende, axial kompakte Anordnung. Die erfindungsgemäße Leitschaufel bietet damit einen besonders vorteilhaften Kompromiss zwischen geringer Anregung, günstiger Aerodynamik und Kompaktheit der Bauweise (Gewicht), und ist damit besonders vorteilhaft hinsichtlich Effizienz und Schwingbelastung.

[0011] Insbesondere ist hierbei der erste Winkel α und/oder der zweite Winkel β derart bestimmt, dass in einem Betrieb der Leitschaufel bzw. der Strömungsmaschine eine Anregung durch den Nachlauf des stromaufwärts benachbarten Laufschaufelgitters verringert ist. Vorzugsweise verlaufen die Neigungen in Umfangs- und Axialrichtung entlang der radialen Richtung derart, dass die Anregung reduziert ist. Ein Betrieb kann beispielsweise in einem Flugtriebwerk der Zustand des ADP ("aerodynamic design point") und/oder der Betriebszustand auf Reiseflughöhe ("cruise condition") sein. Vorzugsweise verlaufen die Neigungen in Umfangs- und Axialrichtung entlang der radialen Richtung derart, dass die Anregung reduziert ist.

[0012] Die Erfindung betrifft somit insbesondere eine Leitschaufel für eine Strömungsmaschine, insbesondere Flugtriebwerk, insbesondere einer Turbinenstufe, insbesondere Niederdruckturbinenstufe, des Flugtriebwerks, mit einem Schaufelblatt, welches zumindest abschnittsweise sowohl in Umfangsrichtung als auch in Axialrichtung derart geneigt ist, dass im jeweiligen Betrieb eine Anregung durch den Nachlauf des stromaufwärts benachbarten Laufschaufelgitters verringert ist.

[0013] Eine Strömungsmaschine definiert mittels ihrer Drehachse eine axiale Richtung, eine radiale Richtung senkrecht zur axialen Richtung und eine sich konzentrisch um die axiale Richtung erstreckende Umfangsrichtung. Die Leitschaufel bzw. das Schaufelblatt erstreckt sich radial zwischen einer inneren Plattform einer Leitschaufelanordnung und einer äußeren Plattform der Leitschaufelanordnung. Das Schaufelblatt weist eine Vorderkante, welche sich von der inneren Plattform zur äußeren Plattform erstreckt, und eine Hinterkante, welche stromabwärts der Vorderkante entlang einer Strömungsrichtung angeordnet ist und sich von der inneren Plattform zur äußeren Plattform erstreckt, auf. Zwischen der Vorderkante und der Hinterkante erstreckt sich die Saugseite und die Druckseite, wobei diese einander gegenüberliegend angeordnet sind.

[0014] Die Strömungsmaschine weist eine Turbine bzw. einen Turbinenabschnitt auf, die/der beispielsweise eine Hochdruckturbine und/oder eine Niederdruckturbine aufweisen kann. Eine Turbine weist dabei mehrere Stufen auf, wobei jede Stufe eine stationäre Leitschaufelanordnung und eine darauffolgend stromabwärts um die Drehachse der Strömungsmaschine rotierbar angeordnete Laufschaufelanordnung aufweist. Eine solche Leitschaufelanordnung weist ein oder mehrere Leitschaufelsegmente mit wenigstens einer Leitschaufel auf, wobei eine Leitschaufelanordnung umlaufend insbesondere eine Mehrzahl baugleicher Leitschaufeln aufweist.

[0015] Gemäß eines weiteren Aspekts wird ein Leitschaufelsegment oder -Cluster mit genau einer, genau zwei, genau drei, genau vier, genau fünf oder mehreren Leitschaufel(n) gemäß einer hierin beschriebenen Ausführungsform vorgeschlagen.

[0016] Entsprechend wird auch ein Leitschaufelsegment oder -Cluster mit mindestens einer oder mehreren hierin vorgeschlagenen Leitschaufeln sowie eine Turbinenstufe, insbesondere Niederdruckturbinenstufe, insbesondere schnelldrehende Niederdruckturbinenstufe, mit einer solchen Leitschaufel vorgeschlagen. "Schnelldrehend" bedeutet, dass die Turbinenstufe über ein Getriebe an den Fan gekoppelt ist und im Betrieb schneller dreht als der Fan.

[0017] Gemäß eines weiteren Aspekts wird eine Turbinenstufe, insbesondere Niederdruckturbinenstufe, insbesondere schnelldrehende Niederdruckturbinenstufe, mit einem Leitschaufelkranz mit einer Leitschaufel und/oder einem Leitschaufelsegment oder -Cluster gemäß einer hierin beschriebenen Ausführungsform vorgeschlagen. Eine schnelldrehende Niederdruckturbinenstufe ist insbesondere derart ausgebildet, dass die Turbinenstufe über ein Getriebe an ein turbinengetriebenes Gebläse ("Fan") gekoppelt ist und im Betrieb schneller dreht als der Fan. Insbesondere kann jede Leitschaufel bzw. jedes Leitschaufelsegment des Leitschaufelkranzes erfindungsgemäß ausgeführt sein.

[0018] Gemäß eines weiteren Aspekts wird eine Schaufelblattanordnung für eine Strömungsmaschine vorgeschlagen, wobei wenigstens ein Leitschaufelsegment gemäß einer hierin beschriebenen Ausführungsform zwischen zwei Laufkränzen bzw. Laufschaufelanordnungen, insbesondere innerhalb einer Turbinenstufe gemäß einer hierin beschriebenen Ausführungsform, insbesondere einer Niederdruckturbine und/oder schnelldrehenden Turbine eines Flugtriebwerks, angeordnet ist.

[0019] Die Erfindung basiert unter anderem auf der Idee, eine Leitschaufel einer Leitschaufelanordnung

bzw. eines Leitschaufelgitters an einen Nachlauf einer stromaufwärts zu diesem angeordneten Laufschaufelanordnung bzw. eines Laufschaufelgitters anzupassen, um so eine Reduzierung einer Anregung des Laufschaufelgitters und/oder der Laufschaufelanordnung zu ermöglichen. Es wird vorgeschlagen, das angeregte, stromabwärtige Leitgitter an den Nachlauf (engl. "wake") des stromaufliegenden Laufschaufelgitters anzupassen.

[0020] Dadurch kann eine Anpassung des Nachlaufs des stromaufwärtigen Laufschaufelgitters durch Veränderung des stromaufwärtigen Laufschaufelgitters auf das nachfolgende Leitgitter vermieden werden. Dies hat den Vorteil, dass die in Bezug auf die Erfüllung unterschiedlicher Auslegungskriterien ausgelegten Laufschaufeln des Laufschaufelgitters nicht in Bezug auf diese Auslegungskriterien, welche z.B. einen Kräfteausgleich zwischen aerodynamischer Gaskraft und Fliehkraft umfassen können, in nachteiliger Weise verändert werden müssen.

[0021] Es kann Vorteile haben, anstatt der rotierenden Laufschaufeln die nachfolgenden Leitschaufeln zu neigen. Durch das Neigen wird der Schwerpunkt verschoben, was beim Neigen der Laufschaufeln zu strukturmechanischen Nachteilen führt. Deshalb kann es nachteilig sein, wenn die Laufschaufeln zusätzlich geneigt werden.

[0022] Bei einer Ausführungsform ist die Verbindungsgerade durch die Profilschwerpunkte bei 0% und 10%, vorzugsweise bei 0% und 15%, insbesondere bei 0% und 24% einer bzw. der sich radial nach außen erstreckenden Schaufelblatthöhe um maximal 10°, vorzugsweise maximal 5°, zur Radialrichtung durch den 0%-Profilschwerpunkt geneigt. Hierdurch ist die Leitschaufel bzw. das Schaufelblatt zu seiner Druckseite hin geneigt, und insbesondere nicht in Richtung der Saugseite geneigt, wodurch sich aerodynamische Vorteile an der Leitschaufel ergeben können, die in einer Reduktion von Leistungsverlusten an der Leitschaufel im Nabenbereich einer Leitschaufelanordnung resultieren können.

[0023] Bei einer Ausführungsform beträgt ein Umfangsabstand auf 90% einer Kanalhöhe der Strömungsmaschine zwischen der Umfangsposition eines ersten Profilschwerpunkts der Leitschaufel bei 10% der sich radial nach außen erstreckenden Schaufelblatthöhe und der Umfangsposition eines zweiten Profilschwerpunkts der Leitschaufel bei 90% der sich radial nach außen erstreckenden Schaufelblatthöhe mindestens das 0,3-Fache, insbesondere 0,6-Fache, und/oder höchstens das 2-Fache, insbesondere 1,2-Fache, eines minimalen Schaufelblattabstands bei 90% der Kanalhöhe, insbesondre an der Stelle der Leitschaufel. Dabei ist die Umfangsposition des zweiten Profilschwerpunkts insbesondere gegenüber der Umfangsposition des ersten Profilschwerpunkts zur Druckseite oder vorzugsweise zur Saugsseite hin versetzt.

[0024] Der Umfangsabstand kann dabei insbesondere entlang eines Kreisbogens zwischen den betreffenden Umfangspositionen der jeweiligen Profilschwerpunkte genommen werden. Der minimale Schaufelblattabstands kann auch als "Engstelle" bezeichnet werden, welche dem Durchmesser des kleinsten Kreises entspricht, der auf der betreffenden Radialhöhe zwischen Druck- und Saugseite benachbarter Schaufelblätter diese tangierend einbeschrieben werden kann, wobei sich insbesondere der Kreismittelpunkt auf der betreffenden Kanalhöhe befindet.

[0025] Bei einer Ausführungsform schließt die Sichtkante der Vorderkante bei einer Betrachtung in Umfangsrichtung abschnittsweise einen zweiten Winkel (γ) mit der radialen Richtung ein, wobei der zweite Winkel (γ) an der inneren Plattform in einem Bereich von 4° bis 16°, insbesondere in einem Bereich von 7° bis 13° und/oder an der äußeren Plattform in einem Bereich von 12° bis 24°, insbesondere in einem Bereich von 15° bis 21°. Hierdurch kann eine Neigung der Leitschaufel bzw. des Schaufelblatts in axialer Richtung in einem radial inneren Bereich ausgebildet werden, wodurch eine Reduktion einer Schwingungsbelastung der Leitschaufel bzw. einer Leitschaufelanordnung mit einer solchen Leitschaufel durch den Nachlauf einer stromaufwärtig angeordneten Laufschaufelanordnung ermöglicht ist. Zudem kann durch eine solche Ausgestaltung eine kompakte Anordnung der Leitschaufel(n) an einer inneren Plattform ermöglicht werden, wodurch Platz und Gewicht eingespart werden kann.

[0026] Es ist eine Anordnung der Vorderkante in eine Richtung stromabwärts bzw. ein Versatz der Vorderkante nach "downstream", insbesondere über einen Großteil seiner radialen Erstreckung, ermöglicht. Dies ermöglicht eine kompakte Anordnung von Leitschaufeln an einer äußeren Plattform, wodurch Platz und Gewicht eingespart werden kann.

[0027] Bei einer Ausführungsform schließt eine Sichtkante der Hinterkante bei einer Betrachtung in Umfangsrichtung wenigstens abschnittsweise einen dritten Winkel δ gegenüber der radialen Richtung, an der Umfangsposition, an welcher die Hinterkante auf die äußere Plattform trifft, ein. Insbesondere kann, bei Sicht in Axialrichtung auf die Hinterkante, ein weiterer Winkel zwischen der Hinterkante und einer Tangente an eine äußere Plattform bzw. eine radial äußere Ringraumwand der Strömungsmaschine zwischen 72° und 84°, vorzugsweise zwischen 74° und 82° und insbesondere zwischen 76° und 80° liegen. Somit kann in einem radial äußeren Bereich der Leitschaufel bzw. des Schaufelblatts eine stärkere Neigung ausgebildet sein, wodurch eine geringere Anregung einer nach- und/oder vorlaufenden Laufschaufelanordnung und der Leitschaufel bzw. des Schaufelblatts erzielbar sein kann.

[0028] Bei einer Ausführungsform weist die Sichtlinie der Vorderkante und/oder der Hinterkante bei einer Blickrichtung in Umfangsrichtung über mindestens 50%, insbesondere mindestens 60%, insbesondere mindestens 70%, insbesondere mindestens 80%, insbesondere mindestens 90% der radialen Schaufelblatthöhe oder über die gesamte radiale Schaufelblatthöhe eine Krümmung, insbesondere mit gleichem Vorzeichen, auf. Insbeson-

dere ist, bei einer Blickrichtung in Umfangsrichtung der Strömungsmaschine, der Neigungsverlauf in Axialrichtung, insbesondere der Verlauf einer Vorderkantensichtlinie und/oder Hinterkantensichtlinie in Radialrichtung, ein bogenförmiger Verlauf. Durch diesen gekrümmten bzw. bogenförmigen Verlauf der Leitschaufel bzw. des Schaufelblatts kann die Anregung weiter reduziert werden. Hierbei kann der Verlauf der Leitschaufel bzw. des Schaufelblatts alternativ oder zusätzlich derart ausgebildet sein, dass an einem radial inneren Schaufelblattende und/oder an einem radial äußeren Schaufelblattende eine Neigung zur Radialrichtung entgegengesetzt orientiert ist, wobei der Verlauf zwischen den Enden kontinuierlich, insbesondere ohne Krümmungswechsel, ausgebildet ist bzw. die radial innen und außen liegenden Konturen der Vorderkantensichtlinie und/oder Hinterkantensichtlinie ineinander übergehen.

[0029] Weitere Merkmale, Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung im Zusammenhang mit den Figuren. Es zeigt

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer beispielhaften erfindungsgemäßen Strömungsmaschine in einem Axialschnitt;

Fig. 2a, 2b eine schematische Darstellungen eines beispielhaften erfindungsgemäßen Leitschaufelclusters und einer erfindungsgemäßen Leitschaufel in einer Blickrichtung in Axialrichtung der Strömungsmaschine;

Figs. 3a, 3b eine schematische Darstellungen einer beispielhaften erfindungsgemäßen Leitschaufel in einer Blickrichtung in Umfangsrichtung der Strömungsmaschine;

[0030] **Fig. 1** zeigt ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Strömungsmaschine 1, hier beispielhaft ein Mantelstromtriebwerk, in einem Axialschnitt. Die Strömungsmaschine 1 gliedert sich funktional in Verdichter 1a, Brennkammer 1b und Turbine 1c. Sowohl der Verdichter 1a als auch die Turbine 1c sind jeweils aus mehreren Stufen aufgebaut, jede Stufe setzt sich aus einer Leitschaufelanordnung und einer in Strömungsrichtung darauffolgend angeordneten Laufschaufelanordnung zusammen. Eine solche Turbinenstufe, insbesondere eine Niederdruckturbinenstufe, insbesondere schnelldrehende Niederdruckturbinenstufe, kann eine erfindungsgemäße Leitschaufel und/oder ein erfindungsgemäßes Leitschaufelcluster aufweisen.

[0031] Die Laufschaufelanordnungen rotieren im Betrieb um die Längsachse 2 der Strömungsmaschine 1. Im Verdichter 1a wird die angesaugte Luft komprimiert, und dann in der nachgelagerten Brennkammer 1b mit hinzugemischtem Brennstoff verbrannt. Die hierdurch entstehende Strömung durchströmt einen Heißgaskanal 3 und treibt dabei die dort angeordneten Laufschaufelanordnungen an, die um die Längsachse 2 rotieren.

[0032] **Fig. 2a** zeigt eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Leitschaufelclusters 11 bzw. Leitschaufelsegments aufweisend eine Anzahl an erfindungsgemäßen Leitschaufeln 10 bei einer Blickrichtung in Axialrichtung auf Hinterkanten 12 der Leitschaufeln 10 bzw. deren Schaufelblätter 20.

[0033] Ein solches Leitschaufelcluster 11 kann Teil einer Leitschaufelanordnung bzw. eines Leitschaufelkranzes sein. Wenigstens ein solches Leitschaufelsegment kann zwischen zwei Laufkränzen bzw. Laufschaufelanordnungen, insbesondere innerhalb einer hierin beschriebenen Turbinenstufe, angeordnet sein.

[0034] Ein Schaufelblatt 20 einer Leitschaufel 10 weist eine nicht dargestellte Vorderkante auf, wobei die Vorderkante und die Hinterkante 12 durch eine Saugseite und eine Druckseite 13 miteinander verbunden sind. Das Schaufelblatt 20 erstreckt sich im Wesentlichen in radialer Richtung in Bezug auf eine Strömungsmaschinenlängsachse 2 zwischen einer inneren Plattform 14 und einer äußeren Plattform 15.

[0035] **Fig. 2b** zeigt eine schematische Darstellung eines Schaufelblatts 20 einer erfindungsgemäßen Leitschaufel 10 aus Fig. 2a in axialer Richtung der Strömungsmaschine gesehen. Eine Hinterkante 12 verläuft - an einer Umfangsposition, an welcher die Hinterkante 12 auf die äußere Plattform 15 trifft - in Bezug auf die radiale Richtung R radial außen zur Druckseite in einem ersten Winkel α geneigt. Dieser erste Winkel α wird zwischen der Hinterkante 12 und einer Tangente T der äußeren Plattform 15 an einem Übergang der äußeren Plattform 15 zur Hinterkante 12 eingeschlossen und kann zwischen 72° und 84°, vorzugsweise zwischen 74° und 82° , insbesondere zwischen 76° und 80° liegen. Die hierdurch bedingte Neigung in axialer Richtung wird auch als "bow" der Leitschaufel bzw. des Schaufelblatts bezeichnet.

[0036] Eine Verbindungsgerade 16 durch die Profilschwerpunkte bei 0% und 10% einer sich radial nach außen erstreckenden Schaufelblatthöhe der Leitschaufel (10) ist gegenüber einer radialen Richtung (R) durch den Profilschwerpunkt bei 10% der Schaufelblatthöhe um maximal 10° geneigt, wodurch die Leitschaufel 10 eine Neigung in Umfangsrichtung bzw. einen sogenannten "lean" aufweist. Die Verbindungsgerade 16 durch die Profilschwerpunkte verläuft durch die Schwerpunkte von Querschnittsflächen des Schaufelblatts 20.

[0037] Dabei kann die Verbindungsgerade 16 durch die Profilschwerpunkte bei 0% und 10%, vorzugsweise bei 0% und 15% und insbesondere bei 0% und 24% einer sich radial nach außen erstreckenden Schaufelblatthöhe um maximal 10°, und vorzugsweise maximal 5° zur Radialrichtung durch den 0%-Profilschwerpunkt geneigt sein. Hierdurch kann die Neigung in Umfangsrichtung der Strömungsmaschine 1 entstehen, wodurch eine Entkopplung bzw. eine reduzierte Anregung des Schaufel-

blatts 20 bzw. des Leitschaufelblatts 10 und/oder einer Leitschaufelanordnung ermöglicht ist.

[0038] Ein weiteres in Fig. 2a gezeigtes Schaufelblatts 201 hat einen ersten Profilschwerpunkt P_1 bei 10% der sich radial nach außen erstreckenden Schaufelblatthöhe und einen zweiten Profilschwerpunkt P_2 bei 90% der sich radial nach außen erstreckenden Schaufelblatthöhe. Die Umfangsposition U_1 des ersten Profilschwerpunkt P_1 liegt auf einer radial durch den ersten Profilschwerpunkt P_1 verlaufenden Geraden U_1 oder entspricht dieser Geraden U_1. Die Umfangsposition U_2 des zweiten Profilschwerpunkt P_2 liegt auf einer radial durch den zweiten Profilschwerpunkt P_2 verlaufenden Geraden U_2 oder entspricht dieser Geraden U_2.

[0039] Auf 90% einer Kanalhöhe H_K im Bereich des Schaufelblatts 201 beträgt ein Umfangsabstand A_U (entlang eines Kreisbogens) zwischen der Umfangsposition U_1 des ersten Profilschwerpunkts P_1 und der Umfangsposition U_2 des zweiten Profilschwerpunkts P_2 mindestens das 0,3-Fache, insbesondere 0,6-Fache, und/oder höchstens das 2-Fache, insbesondere 1,2-Fache, eines minimalen Schaufelblattabstands bei 90% der Kanalhöhe H_K.

[0040] Im Beispiel der Fig. 2a ist die Umfangsposition U_2 des zweiten Profilschwerpunkts P_2 gegenüber der Umfangsposition U_1 des ersten Profilschwerpunkts P_1 zur Druckseite 13 hin versetzt.

[0041] Alternativ kann in einer bevorzugten Ausführungsform die Umfangsposition U_2 des zweiten Profilschwerpunkts P_2 gegenüber der Umfangsposition U_1 des ersten Profilschwerpunkts P_1 auch zur Saugseite hin versetzt sein.

[0042] **Fig. 3a** zeigt eine schematische Darstellung des Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Leitschaufel 10 bei einer Blickrichtung in Umfangsrichtung einer Strömungsmaschine 1.

[0043] Die Vorderkante 17 und die Hinterkante 12 des Schaufelblatts 20 der Leitschaufel 10 erstrecken sich im Wesentlichen in radialer Richtung zwischen der inneren Plattform 14 und der äußeren Plattform 15. Die Vorderkante 17 und Hinterkante 12 bzw. deren Sichtlinien verlaufen erkennbar gekrümmt bzw. bogenförmig. Hierbei kann die Sichtlinie der Vorderkante 17 und/oder Hinterkante 12 bei einer Blickrichtung in Umfangsrichtung über mindestens 50%, insbesondere mindestens 60%, insbesondere mindestens 70%, insbesondere mindestens 80%, insbesondere mindestens 90% einer radialen Schaufelblatthöhe oder über die gesamte radiale Schaufelblatthöhe eine Krümmung, insbesondere mit gleichem Vorzeichen, aufweisen. Wie in Fig. 3a zu erkennen ist haben die Krümmungen der Vorderkante 17 und der Hinterkante 12 das gleiche Vorzeichen, sind also in gleicher Richtung gekrümmt.

[0044] **Fig. 3b** zeigt eine schematische Darstellung eines Schaufelblatts 20 einer erfindungsgemäßen Leitschaufel 10 aus Fig. 3a in Umfangsrichtung gesehen, wobei sich das Schaufelblatt 20 von radial inneren Ringraumwand 31 der Strömungsmaschine 1 zu einer radial äußeren Ringraumwand 32 der Strömungsmaschine 1 erstreckt.

[0045] Eine Sichtkante der Vorderkante 17 schließt wenigstens abschnittsweise einen zweiten Winkel γ gegenüber der radialen Richtung R ein. Dabei kann eine Neigung der Leitschaufel 10 in axialer Richtung bzw. ein "bow" bewirkt werden, sodass die Vorderkante 17 und/oder die Hinterkante 12 in eine Richtung stromabwärts versetzt angeordnet sein kann, um eine Reduzierung einer Schwingungsbelastung der Leitschaufel 10 durch den Nachlauf einer stromaufwärts angeordneten Laufschaufelanordnung zu ermöglichen.

[0046] Hierbei kann der zweite Winkel γ an der inneren Plattform 14 in einem Bereich von 4° bis 16°, insbesondere in einem Bereich von 7° bis 13° und an der äußeren Plattform 15 in einem Bereich von 12° bis 24°, insbesondere in einem Bereich von 15° bis 21° liegen. Alternativ oder zusätzlich kann die Sichtkante der Hinterkante 12 bei einer Betrachtung in Umfangsrichtung wenigstens abschnittsweise einen dritten Winkel δ gegenüber der radialen Richtung R einschließen.

[0047] Die Darstellungen sind zur Illustration mit einer überproportionalen Neigung gezeichnet.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0048]

1	Strömungsmaschine
1a	Verdichter
1b	Brennkammer
1c	Turbine
2	Längsachse
3	Heißgaskanal
10	Leitschaufel
11	Leitschaufelcluster
12	(Sichtlinie der) Hinterkante
13	Druckseite
14	innere Plattform
15	äußere Plattform
16	Verbindungslinie durch Profilschwerpunkte
17	(Sichtlinie der) Vorderkante
20	Schaufelblatt
31	radial innere Ringraumwand
32	radial äußere Ringraumwand
A	axiale Richtung der Strömungsmaschine
R	radiale Richtung der Strömungsmaschine

Patentansprüche

1. Leitschaufel (10) für eine Strömungsmaschine (1), insbesondere für ein Flugtriebwerk, mit einem Schaufelblatt (20) aufweisend eine Vorderkante (17) und eine Hinterkante (12), welche durch eine Saugseite und eine Druckseite (13) miteinander verbunden sind, wobei sich das Schaufelblatt (20) im Wesentlichen in radialer Richtung (R) zwischen einer

inneren Plattform (14) und einer äußeren Plattform (15) erstreckt,
dadurch gekennzeichnet,
dass in axialer Richtung (A) der Strömungsmaschine (1) auf die Hinterkante (12) gesehen, die Hinterkante (12) radial außen in Bezug auf die radiale Richtung (R) an einer Umfangsposition, an der die Hinterkante (12) auf die äußere Plattform (15) trifft, zur Druckseite (13) mit einem ersten Winkel (α) geneigt verläuft und der erste Winkel (α) zwischen der Hinterkante (12) und einer Tangente (T) an der äußeren Plattform (15) an einem Übergang der äußeren Plattform (15) zur Hinterkante (12) zwischen 72° und 84°, vorzugsweise zwischen 74° und 82°, insbesondere zwischen 76° und 80° liegt, in axialer Richtung (A) der Strömungsmaschine (1) gesehen, eine Verbindungsgerade (16) durch die Profilschwerpunkte bei 0% und 10% einer sich radial nach außen erstreckenden Schaufelblatthöhe der Leitschaufel (10) gegenüber einer radialen Richtung (R) durch den Profilschwerpunkt bei 10% der Schaufelblatthöhe um maximal 10° geneigt ist, und eine Sichtkante der Vorderkante (17) über die Schaufelblatthöhe bei einer Betrachtung in Umfangsrichtung einen bogenförmig gekrümmten Verlauf hat und radial außen und radial innen gegenüber der radialen Richtung (R) geneigt ist.

2. Leitschaufel (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verbindungsgerade durch die Profilschwerpunkte bei 0% und 10%, vorzugsweise bei 0% und 15% und insbesondere bei 0% und 24% der sich radial nach außen erstreckenden Schaufelblatthöhe um maximal 10°, vorzugsweise maximal 5°, zur radialen Richtung (R) durch den 0%-Profilschwerpunkt geneigt ist.

3. Leitschaufel (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Umfangsabstand A_U auf 90% einer Kanalhöhe (H_K) der Strömungsmaschine (1) zwischen der Umfangsposition (U_1) eines ersten Profilschwerpunkts (P_1) der Leitschaufel (10) bei 10% der sich radial nach außen erstreckenden Schaufelblatthöhe und der Umfangsposition (U_2) eines zweiten Profilschwerpunkts (P_2) der Leitschaufel (10) bei 90% der sich radial nach außen erstreckenden Schaufelblatthöhe mindestens das 0,3-Fache, insbesondere 0,6-Fache, und/oder höchstens das 2-Fache, insbesondere 1,2-Fache, eines minimalen Schaufelblattabstands bei 90% der Kanalhöhe (H_K) beträgt, wobei die Umfangsposition (U_2) des zweiten Profilschwerpunkts (P_2) gegenüber der Umfangsposition (U_1) des ersten Profilschwerpunkts (P_1) zur Druckseite (13) oder vorzugsweise zur Saugsseite hin versetzt ist.

4. Leitschaufel (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einer Betrachtung in Umfangsrichtung die Sichtkante der Vorderkante (17) abschnittsweise einen zweiten Winkel (γ) mit der radialen Richtung (R) einschließt, wobei der zweite Winkel (γ) an der inneren Plattform (14) in einem Bereich von 4° bis 16°, insbesondere in einem Bereich von 7° bis 13° liegt, und/oder an der äußeren Plattform (15) in einem Bereich von 12° bis 24°, insbesondere in einem Bereich von 15° bis 21° liegt.

5. Leitschaufel (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Sichtkante der Hinterkante (12) bei einer Betrachtung in Umfangsrichtung wenigstens abschnittsweise einen dritten Winkel (δ) gegenüber der radialen Richtung (R) an der Umfangsposition, an welcher die Hinterkante (12) auf die äußere Plattform (15) trifft, einschließt.

6. Leitschaufel (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sichtlinie der Vorderkante (17) und/oder der Hinterkante (12) bei einer Blickrichtung in Umfangsrichtung über mindestens 50%, insbesondere mindestens 60%, insbesondere mindestens 70%, insbesondere mindestens 80%, insbesondere mindestens 90% der radialen Schaufelblatthöhe oder über die gesamte radiale Schaufelblatthöhe eine Krümmung, insbesondere mit gleichem Vorzeichen, aufweist.

7. Leitschaufelsegment (11) oder -Cluster mit genau einer, genau zwei, genau drei, genau vier, genau fünf oder mehreren Leitschaufeln (10) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche.

8. Turbinenstufe, insbesondere Niederdruckturbinenstufe, insbesondere schnelldrehende Niederdruckturbinenstufe, mit einem Leitschaufelkranz mit einer Leitschaufel (10) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7 und/oder einem Leitschaufelsegment (11) gemäß Anspruch 8.

9. Schaufelblattanordnung für eine Strömungsmaschine (1), wobei wenigstens ein Leitschaufelsegment (11) gemäß Anspruch 8 zwischen zwei Laufkränzen, insbesondere innerhalb einer Turbinenstufe gemäß Anspruch 9, insbesondere einer Niederdruckturbine und/oder schnelldrehenden Turbine eines Flugtriebwerks, angeordnet ist.

Fig. 1

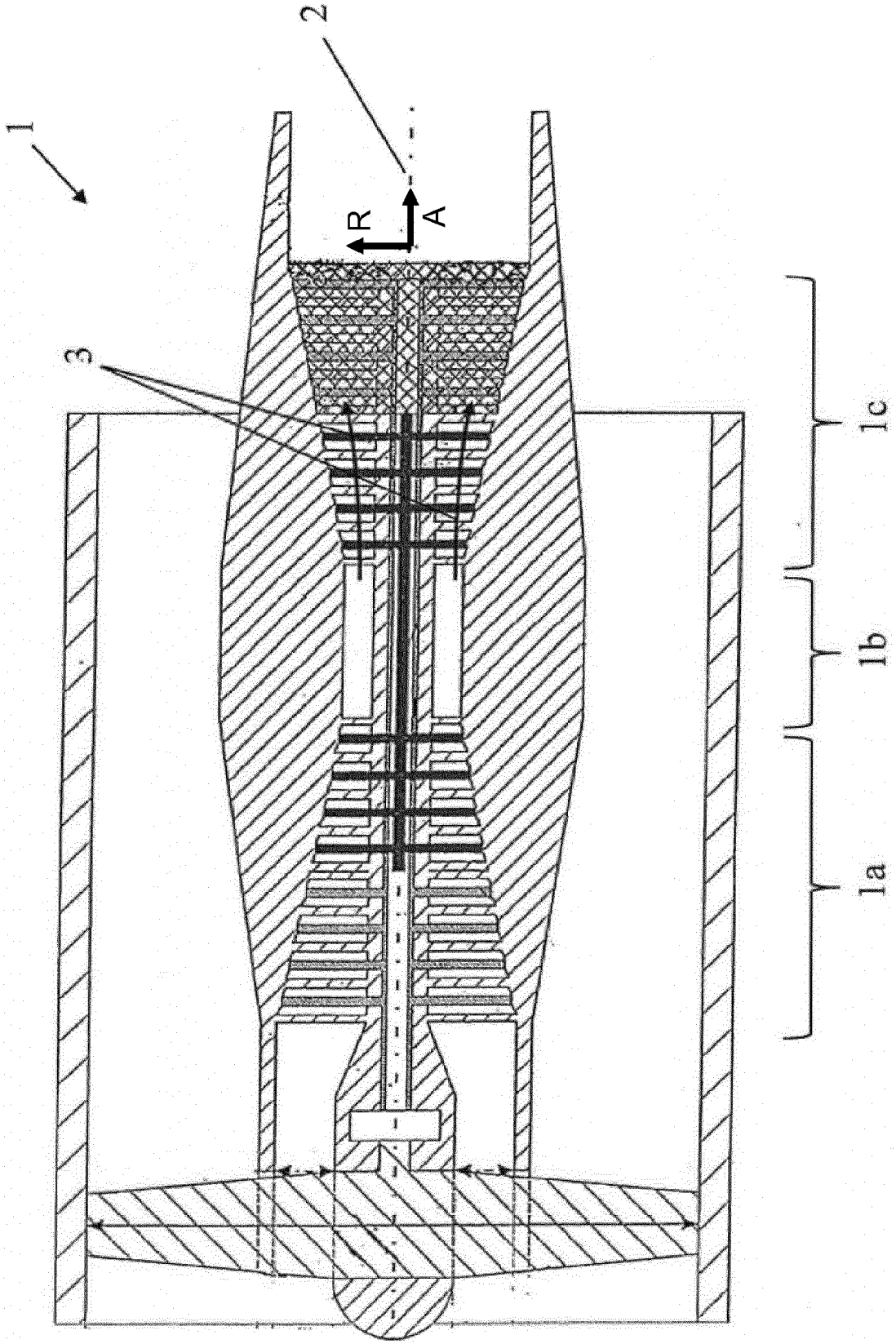


Fig. 2a

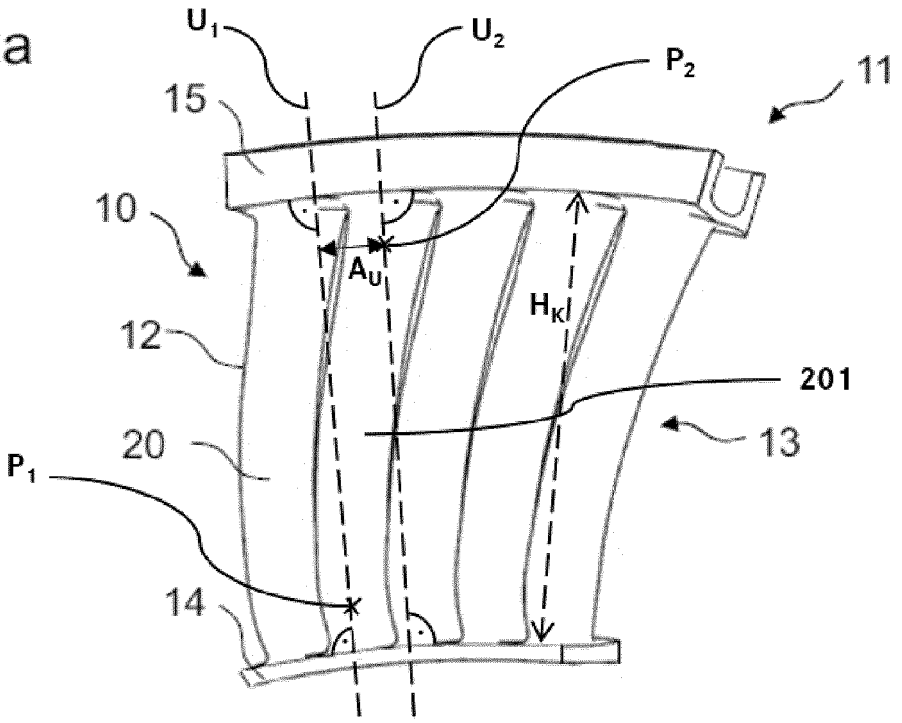


Fig. 2b

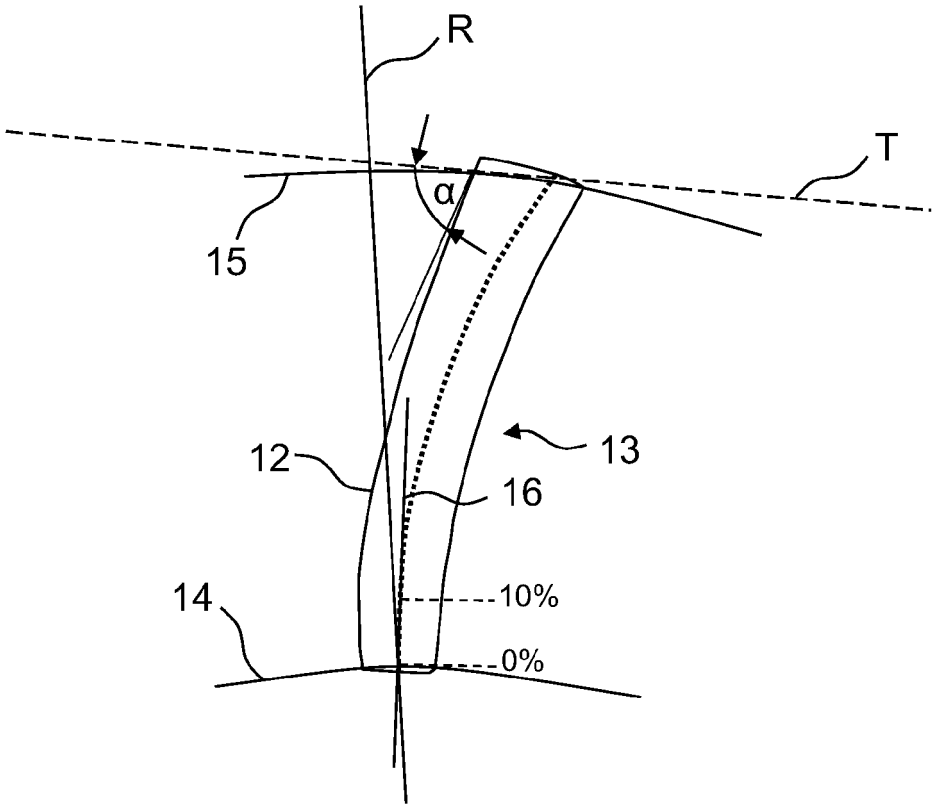


Fig. 3a

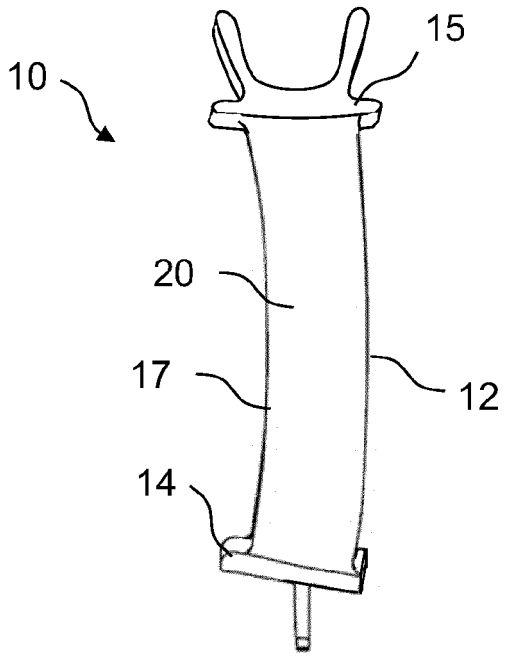
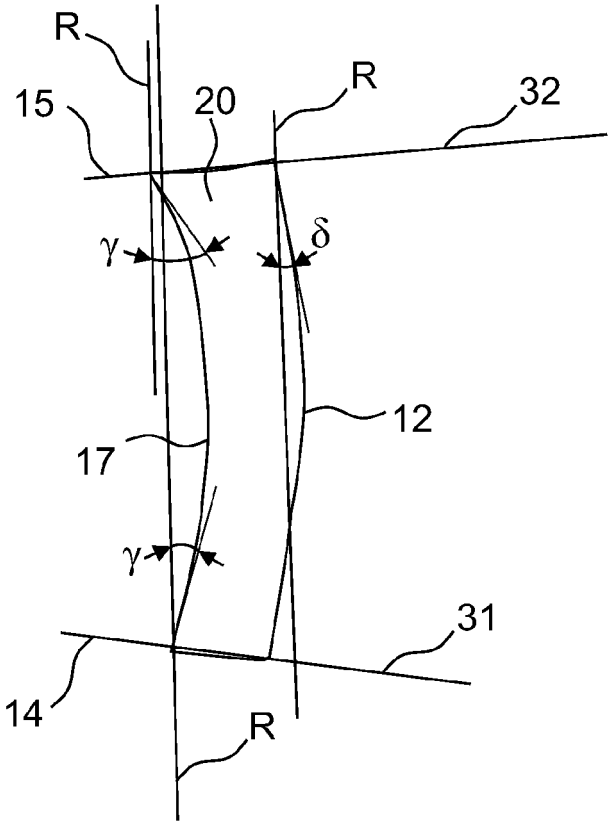


Fig. 3b



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 23 15 1613

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 7 806 653 B2 (GEN ELECTRIC [US]) 5. Oktober 2010 (2010-10-05) * Spalte 3, Zeile 58 - Spalte 5, Zeile 57; Abbildungen 6,7,9, *	1,2,5,8	INV. F01D5/14 F01D5/16 F01D9/04
X	US 2021/156261 A1 (KARAKASIS MARIOS [CH]) 27. Mai 2021 (2021-05-27) * Seite 2, Absatz 33 - Seite 3, Absatz 45; Abbildungen 2,3,4,13 *	1-3,5-9	
X	EP 2 075 408 A2 (ANSALDO ENERGIA SPA [IT]) 1. Juli 2009 (2009-07-01) * Spalte 2, Absatz 12 - Spalte 4, Absatz 21; Abbildungen 2-7 *	1-9	

RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)

F01D

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München	7. Juli 2023	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

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR. EP 23 15 1613

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.

07-07-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 7806653 B2	05-10-2010	CA 2613787 A1	22-06-2008
		EP 1939398 A2	02-07-2008
		JP 5179161 B2	10-04-2013
		JP 2008157250 A	10-07-2008
		US 2008152505 A1	26-06-2008
US 2021156261 A1	27-05-2021	CN 112943383 A	11-06-2021
		EP 3828390 A1	02-06-2021
		US 2021156261 A1	27-05-2021
EP 2075408 A2	01-07-2009	KEINE	

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102018202888 A1 **[0004]**