



(11) **EP 3 551 890 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
24.02.2021 Patentblatt 2021/08

(51) Int Cl.:
F04D 17/12^(2006.01) F04D 29/44^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **18704418.5**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2018/051389

(22) Anmeldetag: **22.01.2018**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2018/153583 (30.08.2018 Gazette 2018/35)

(54) **RÜCKFÜHRSTUFE**

RECIRCULATION STAGE

ETAGE DE RETOUR

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **21.02.2017 EP 17157126**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
16.10.2019 Patentblatt 2019/42

(73) Patentinhaber: **Siemens Energy Global GmbH & Co. KG**
81739 München (DE)

(72) Erfinder: **HARTMANN, Jörg Paul**
40489 Düsseldorf (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-2016/047256 DE-A1-102014 223 833
JP-A- H11 173 299 US-A1- 2010 272 564

EP 3 551 890 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Rückführstufe einer Radialturbomaschine mit mindestens einer Leitschaufelstufe, wobei die Rückführstufe sich ringförmig um eine Achse erstreckt, wobei die Rückführstufe nach radial innen von einer inneren Grenzkontur und nach radial außen von einer äußeren Grenzkontur definiert ist, wobei entlang einer ersten Durchströmungsrichtung die Rückführstufe sich in einem ersten Abschnitt nach radial außen erstreckt, wobei die Rückführstufe sich in einem zweiten Abschnitt entlang der ersten Durchströmungsrichtung eine bogenförmige Umlenkung beschreibend von radial außen nach radial innen erstreckt, wobei die Rückführstufe sich entlang der ersten Durchströmungsrichtung in einem dritten Abschnitt von radial innen nach radial innen erstreckt, wobei die Rückführstufe sich entlang der ersten Durchströmungsrichtung in einem vierten Abschnitt eine bogenförmige Umlenkung beschreibend von radial innen nach axial erstreckt, wobei die Leitschaufelstufe Leitschaufeln umfasst, wobei die Leitschaufeln jeweils ein sich entlang einer Spannweite erstreckendes Schaufelblatt umfassen, dessen umströmten Oberflächen sich von einer stromaufwärts befindlichen Eintrittskante als eine Druckseite und als eine Saugseite entlang einer Skelettlinie voneinander beabstandet um Profilquerschnitte bis zu einer Austrittskante erstrecken, wobei eine Tangente an der Skelettlinie eines jeden Profilquerschnitts zu einer radial-axialen Referenzebene einen Schaufelkonstruktionswinkel für jeden Punkt der Skelettlinie einschließt, wobei eine Differenz zwischen einem Schaufelkonstruktionswinkel an der Eintrittskante und einem Schaufelkonstruktionswinkel an einer stromabwärtigen Position einen Umlenkungswinkel für jeden Punkt der Skelettlinie eines jeden Profilquerschnitts definiert, wobei ein mittlerer Gesamtumlenkungswinkel ein über die Spannweite gemittelter Umlenkungswinkel an der Austrittskante ist, wobei die Leitschaufeln sich zumindest entlang eines Teils des dritten Abschnitts erstrecken und die Rückführstufe in Umfangsrichtung in Strömungskanäle segmentiert, wobei die Austrittskanten im dritten Abschnitt angeordnet sind.

[0002] Radialturbomaschinen sind entweder als Radialturboverdichter oder Radialturboexpander bekannt. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich - wenn nicht anders angegeben - auf die Ausführung als Verdichter. Die Erfindung ist für Expander grundsätzlich genauso anwendbar, wie für Verdichter, wobei ein Radialturboexpander gegenüber einem Radialturboverdichter im Wesentlichen eine umgekehrte Strömungsrichtung des Prozessfluids vorsieht.

[0003] Unter Entspannung und Umlenkung eines Prozessfluids findet bei einem Radialturboexpander eine Umwandlung der thermodynamisch im Prozessfluid gespeicherten Energie in technische Arbeit mittels Antriebs des Laufrads statt.

[0004] Bei Radialturboverdichter ist dieser Vorgang umgekehrt, diese wandeln bzw. speichern technische

Arbeit in Strömungsarbeit, die thermodynamisch im Prozessfluid gespeichert wird. Hierzu saugen Laufräder des Verdichters in der Regel ein Prozessfluid axial zu einer Rotationsachse oder schräg zu der Rotationsachse mit einer axialen Geschwindigkeitskomponente an und beschleunigen und verdichten dieses Prozessfluid mittels des jeweiligen Laufrads - das auch als Impeller bezeichnet wird - , das die Strömungsrichtung des Prozessfluids in die radiale Richtung umlenkt. An das Laufrad schließt sich bei einem mehrstufigen Radialturboverdichter stromabwärts eine Rückführstufe an, wenn stromabwärts mindestens ein weiteres Laufrad vorgesehen ist.

[0005] In den Schriften DE102014203251A1, DE 34 303 07 A1 und EP 592 803 B1 sind jeweils Rückführstufen eines mehrstufigen Turboverdichters abgebildet. Eine aerodynamische Betrachtung von Rückführstufen enthalten die US 2010/0272564 A1 und die WO2014072288A1.

[0006] Die WO2016047256 zeigt eine Rückführstufe, die nicht zylindrische Leitschaufeln aufweist. Umlenkungswinkel sind dort nicht spezifiziert. Die Dokumente US 2010/272564 A1,

[0007] DE 10 2014 223833 A1, JP H11 173299 A zeigen aerodynamische Gestaltungen vergleichbarer Konfigurationen.

[0008] Aus dem Aufsatz "Design exploration of a return channel for multistage centrifugal compressors" der Konferenz "Proceedings of the ASME Turbo Expo" des Bands/Jahrgangs 2016 der Autoren Vishal Jariwala, Louis Larosiliere und James Hardin ist eine Analyse komplexer Leitschaufelgeometrien entnehmbar. Die vorgeschlagenen Leitschaufeln erstrecken sich jeweils bis in die 90° Umlenkung des vierten Abschnitts der Rückführstufe, um die spannenweitenmäßige Homogenität der Abströmung zu verbessern. Derartige Rückführstufen sind aufwändig zu fertigen und aufwändig zu montieren.

[0009] Davon ausgehend hat es sich die Erfindung zur Aufgabe gemacht, die Aerodynamik der Rückführstufen zu verbessern ohne eine derartige Aufwände in Kauf nehmen zu müssen.

[0010] Zur Lösung der erfindungsgemäßen Aufgabe schlägt die Erfindung eine Rückführstufe gemäß Anspruch 1 vor. Die Unteransprüche beinhalten vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

[0011] Die Begriffe axial, radial, tangential, Umfangsrichtung und ähnliche werden hierbei bzw. in diesem Dokument jeweils auf die zentrale Achse bezogen, um die sich die Rückführstufe ringförmig erstreckt. Diese Achse ist bei einer Radialturbomaschine auch die Rotationsachse eines Rotors bzw. der Welle mit den Laufrädern.

[0012] Die Erfindung geht bei den Begriffen Zylinder bzw. zylindrisch von dem allgemeinen mathematischen Verständnis des Begriffs aus. Eine ebene Kurve in einer Ebene wird entlang einer Gerade, die nicht in Ausgangsebene enthalten ist, um eine feste Strecke verschoben. Je zwei sich entsprechenden Punkte der Kurven und der verschobenen Kurve werden durch eine Strecke verbunden. Die Gesamtheit dieser parallelen Strecken bildet die

zugehörige Zylinder-Fläche (siehe auch Definition Wikipedia ([https://de.wikipedia.org/wiki/Zylinder_\(Geometrie\)#Allgemein_er_Zylinder](https://de.wikipedia.org/wiki/Zylinder_(Geometrie)#Allgemein_er_Zylinder))). Dementsprechend ist vorliegend der Zylinder nicht beschränkt auf die Form eines Kreiszyllinders. Bezogen auf eine Schaufel bedeutet eine zylindrische Ausbildung, dass die Schaufel - gebildet aus einzelnen Profilen die entlang einer Auffädellungsline gestapelt sind - entlang einer geraden Auffädellungsline gestapelt sind. Hierbei ist es unbeachtlich, ob sich die Schaufel entlang eines konturierten oder gekrümmten Strömungskanal erstreckt oder der Strömungskanal gerade ist. Entscheidend ist die gerade Erstreckung in Spannweitenrichtung der Schaufel, die zu der Bezeichnung "zylindrische Schaufel" führt.

[0013] Eine mehrstufige Radialturbomaschine bedeutet in der Begriffswelt dieser Erfindung, dass mehrere Laufräder um die gleiche Rotationsachse drehbar angeordnet sind. Hierbei ist ein Laufrad gleichzusetzen mit einer Stufe der Radialturbomaschine. Aus der Mehrstufigkeit ergibt sich das Erfordernis, dass im Falle des Verdichters das radial aus dem Laufräder ausströmende Prozessfluid wieder zurück in Richtung der Rotationsachse geführt werden muss und mit einer axialen Geschwindigkeitskomponente in das nachfolgende Laufrad der stromabwärtigen Stufe einströmen kann. Die Strömungsführung, die diese Rückführung des Prozessfluids ermöglicht nennt sich daher "Rückführstufe". Im Falle des Expanders kann das Bauteil identisch ausgebildet sein und wird lediglich in umgekehrter Richtung durchströmt.

[0014] Neben der Rückführung des Prozessfluides in Richtung der Rotationsachse und der Umlenkung der Strömungsrichtung des Prozessfluids in axiale Richtung sind in den Rückführstufen erfindungsgemäß auch Leitschaufeln vorgesehen, die einen in der Strömung aus dem stromaufwärtigen Laufrad aufgeprägten Drall zumindest teilweise oder vollständig neutralisieren oder sogar einen Drall in Gegenrichtung aufprägen für den Eintritt in die nächste stromabwärtige Stufe.

[0015] Die erfindungsgemäß bevorzugte Ausfertigung einer Rückführstufe sieht vor, dass dieses Gesamtbau teil mittels eines sogenannten Zwischenbodens mittels geeigneter Auflager in der Regel in einem Gehäuse oder einer sonstigen Auflagevorrichtung abgestützt und ausgerichtet ist. Weiterhin umfasst die Rückführstufe einen sogenannten Schaufelboden, der an dem Zwischenboden mit den bereits erläuterten Leitschaufeln unter Ausbildung eines Rückführkanals befestigt ist. Durch den Rückführkanal strömt das Prozessfluid zum nächsten Laufradeintritt. In diesem Gebilde kommen den Leitschaufeln zwei Funktionen zu. Einerseits haben die Leitschaufeln die aerodynamische Funktion, dem Prozessfluid einen Gegendrall soweit aufzuprägen, dass zumindest der Drall aus der stromaufwärtigen Stufe weitestgehend kompensiert ist und andererseits haben die Leitschaufeln die mechanische Aufgabe, den Schaufelboden an dem Zwischenboden derart zu befestigen, dass trotz der dynamischen Belastung ein sicherer Halt ge-

währleistet ist.

[0016] Die sich in der Rückführstufe befindende Leitschaufelstufe umfasst Leitschaufeln, die die Ringform der Rückführstufe in Umfangsrichtung in einzelne Kanäle segmentieren. Grundsätzlich können diese Leitschaufeln auch Unterbrechungen (split) aufweisen, sind aber nach der Erfindung bevorzugt entlang der ersten Strömungsrichtung ununterbrochen ausgebildet. Die Leitschaufeln weisen Profile auf, die sich - entsprechend abgewickelt - auch zweidimensional darstellen lassen. Eine zweidimensionale Darstellung ist beispielsweise möglich, wenn der ringförmige Kanal der Rückführstufe entlang einer sich in Umfangsrichtung erstreckenden mittleren Fläche geschnitten wird. Diese Schnittfläche einer einzelnen Leitschaufel lässt sich in eine Ebene abwickeln, zu einer zweidimensionalen Darstellung. Eine Profilmittellinie der aufeinandergestapelten Profile der Leitschaufeln ist erzeugbar mittels Mittelpunkten eingeschriebener Kreise in dem Profil. Diese Profilmittellinie wird nachfolgend auch als Skelettlinie bezeichnet.

[0017] Mit der Profilmittellinie lässt sich eine Profilmittellinienlaufkoordinate oder Skelettlinienlaufkoordinate entlang der ersten Durchströmungsrichtung entlang einer mittleren Höhe der jeweiligen Leitschaufel definieren. Die Länge der Leitschaufel entlang dieser Koordinate ist bevorzugt normiert auf eine Gesamtlänge 1 bzw. 100%.

[0018] Die Höhenrichtung der Leitschaufel wird vorliegend als die Richtung definiert, die senkrecht zu der Durchströmungsrichtung - insbesondere zur ersten Durchströmungsrichtung - und senkrecht zu der Umfangsrichtung orientiert ist. Die Höhe der Schaufel bzw. Höhenrichtung bezeichnet dieses Dokument als Spannweite bzw. Spannweitenrichtung der Schaufel.

[0019] Die Profilmittellinie der Leitschaufel unmittelbar angrenzend an der äußeren Grenzkontur des ringförmigen Kanals der Rückführstufe wird hier als äußere Spur der Leitschaufel bezeichnet und die Profilmittellinie des unmittelbar an der inneren Grenzkontur befindlichen Profilquerschnitts der Leitschaufel wird als die innere Spur der Leitschaufel bezeichnet. In diesem Zusammenhang kann die äußere Grenzkontur der Rückführstufe auch als deckscheibenseitige Grenzkontur bezeichnet werden, weil ein mit einer Deckscheibe versehenes Laufrad diese Deckscheibe auf der Seite der äußeren Grenzkontur aufweist. Die nabenseitige Strömungskontur des Laufrades befindet sich dazu gegenüberliegend auf der inneren Grenzkontur der Rückführstufe, so dass die innere Grenzkontur der Rückführstufe auch als nabenseitige Grenzkontur bezeichnet werden kann. Entlang der komplexen Geometrie der Rückführstufe kann die innere Grenzkontur nicht immer als radial weiter innen liegend angesehen werden als die äußere Grenzkontur für gleiche Positionen entlang einer mittleren Strömungslinie durch die Rückführstufe, so dass derartige alternative Bezeichnungen zum besseren Verständnis zweckmäßig sind.

[0020] Nach der Erfindung ist der Umlenkungswinkel in der Mitte der Spannweite jeweils größer als der mittlere

Gesamtumlenkungswinkel jeweils bezogen auf die Austrittskanten der Leitschaufeln. Die vorteilhafte Erkenntnis der Erfindung besteht darin, dass diese Formgebung der Leitschaufel einerseits eine für den Wirkungsgrad der Rückführstufe günstige Anströmung des nachfolgenden Laufrades bewirkt und andererseits sowohl hinsichtlich der Fertigung als auch der Montage mit einem verhältnismäßig geringen Aufwand einhergeht. Dadurch, dass die Eintrittskante bevorzugt erst hinter der 180°-Umlenkung angeordnet ist und die Austrittskante stromaufwärts der 90°-Umlenkung aus der radial nach innen gerichteten Strömung in die axial gerichtete Strömung, befindet sich die Leitbeschaufelung im Wesentlichen in einem radial verlaufenden Strömungskanal ohne zwingende Axialanteile der Strömung. Die erfindungsgemäße Leitschaufelform bereitet die Strömung hinter der 180-Umlenkung und vor der Umleitung in die Axialrichtung so vorteilhaft auf die Einströmung in das Laufrad vor, dass eine Fortsetzung der Leitschaufel in die stromabwärtige Umlenkung in die Axialrichtung nicht erforderlich ist. Herkömmliche Leitschaufelformen in der Rückführstufe nehmen entweder die ungünstige inhomogene Strömungsverteilung in Spannweitenrichtung in Kauf oder sind aufwändig in die Umlenkungen des zweiten Abschnitts und/oder vierten Abschnitts der Rückführstufe fortgesetzt, um eine vorteilhafte Anströmung des nachfolgenden Laufrades zu gewährleisten. Die nahe an das Laufrad herangeführten Austrittskanten sorgen aber für eine ungünstige Anregung des Laufrades aufgrund der sich dadurch ergebenden Inhomogenitäten in Umfangsrichtung.

[0021] Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Austrittskanten jeweils eine Gerade beschreiben. In dieser Gestaltung werden die Unterschiede im Umlenkwinkel bevorzugt mittels unterschiedlicher Krümmungen der Skelettlinien unterschiedlicher Profile der Spannweite realisiert.

[0022] Eine andere vorteilhafte Weiterbildung sieht vor, dass die Austrittskanten gebogen oder geknickt ausgebildet sind. In dem Fall handelt es sich - in anderen Worten - um nicht gerade Ausführungen der Austrittskanten. Hierbei kann die Biegung der Austrittskanten sowohl in Umfangsrichtung als auch in Radialrichtung ausgebildet sein und außerdem ist auch jede Mischform dieser Versätze denkbar.

[0023] Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung in diesem Zusammenhang sieht vor, dass an den beiden Enden der Spannweite zu jeweils mindestens 7% der Spannweite die Skelettlinien der dortigen Profilquerschnitte kürzer als eine mittlere Skelettlinienlänge ausgebildet sind. Eine derartige Ausführung lässt sich erreichen, wenn beispielsweise bei einer zylindrischen Schaufel oder bei einer nicht-zylindrischen Schaufel die Austrittskanten in diesen beiden Endbereichen der Spannweite gekürzt bzw. das Schaufelblatt an dieser Stelle etwas weggeschnitten bzw. abgeschnitten wird. Dadurch wird die erfindungsgemäß grundsätzlich geforderte Minderumlenkung in den Bereichen der Spannweitenenden auf besonders kostengünstige Weise erreicht.

[0024] Im Folgenden ist die Erfindung anhand eines speziellen Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen schematisch:

- 5 Figur 1 ein axialer Längsschnitt durch den Ausschnitt eines Gehäuses einer Radialturbomaschine mit einer Rückführstufe und Laufrädern,
- 10 Figur 2 eine schematische perspektivische Darstellung einer erfindungsgemäßen Leitschaufel mit unterschiedlichen Gestaltungen der Austrittskante,
- 15 Figur 3 eine schematische perspektivische Darstellung einer erfindungsgemäßen Leitschaufel dargestellt im Zusammenhang mit einer erfindungsgemäßen Rückführstufe,
- 20 Figur 4 eine schematische perspektivische Darstellung einer anderen Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Leitschaufel mit der dazugehörigen Rückführstufe.

[0025] Figur 1 zeigt eine Rückführstufe RCH einer Radialturbomaschine RTM, die als Radialturboverdichter CO ausgebildet ist.

[0026] Die hier beispielhaft für einen Radialturboverdichter CO erläuterten Bauteile sind erfindungsgemäß auch umsetzbar als Radialturboexpander, wobei ein Prozessfluid PF diese Bauteile in einem Radialturboverdichter CO in einer ersten Durchströmungsrichtung FD1 und in einem Radialturboexpander in einer entgegengesetzten zweiten Durchströmungsrichtung FD2 durchströmt. Die Schilderungen beziehen sich in diesem Dokument stets auf die erste Durchströmungsrichtung FD1 bzw. einen Radialturboverdichter CO, sofern nicht anders angegeben.

[0027] Figur 1 zeigt Teile zweier aufeinanderfolgend durchströmter Stufen, einer ersten Stufe ST1 und einer zweiten Stufe ST2 einer ausschnittsweise dargestellten Radialturbomaschine RTM bzw. eines Radialturboverdichters CO, wobei eine Rückführstufe RCH zwischen den beiden Stufen ST1, ST2 hierbei vollständig schematisch dargestellt ist. Die beiden Stufen ST1, ST2 sind hier mit um die Rotationsachse X drehbar angeordneten Laufrädern, einem ersten Laufrad IP1 und einem zweiten Laufrad IP2 dargestellt.

[0028] Ein Prozessfluid PF durchströmt in der Darstellung der Figur 1 zunächst das erste Laufrad IP1 axial einströmend und radial ausströmend entlang einer ersten Durchströmungsrichtung FD1. Nur beispielhaft ist auch eine entgegengesetzt ausgerichtete zweite Durchströmungsrichtung FD2 angegeben, wie diese vorläge bei einem Radialexpander. Stromabwärts anschließend an das erste Laufrad IP1 erreicht das Prozessfluid PF radial nach außen strömend einen radial nach außen gerichteten ersten Abschnitt SG1 und wird dort verzögert, gelangt stromabwärts in eine ca. 180°-Umlenkung eines

zweiten Abschnitts SG2 und anschließend in eine radial nach innen gerichtete Rückführung eines dritten Abschnitts SG3 der Rückführstufe RCH. Stromabwärts des dritten Abschnitts SG3 gelangt das Prozessfluid PF in einem vierten Abschnitt SG4 von radial nach innen strömend nach axial strömend umgelenkt in das zweite Lauf-
rad IP2, um dort wieder radial nach außen beschleunigt zu werden.

[0029] Die Rückführstufe RCH umfasst einen Schaufelboden RR, Leitschaufeln VNS und einen Zwischenboden DGP. Der Zwischenboden DGP ist mittels mindestens eines Auflagers SUP in einer Auflagervorrichtung - hier in einem Gehäuse CAS - abgestützt und dort positioniert. Das Auflager SUP und der abstützende Abschnitt des Gehäuses CAS sind hierbei als Nut-Feder-Verbindung formschlüssig ausgebildet.

[0030] In nicht näher dargestellter Weise weist die Rückführstufe RCH bzw. weisen der Schaufelboden RR und der Zwischenboden DGP eine Teilfuge auf, die in einer gemeinsamen Ebene im Wesentlichen entlang der Achse X verläuft. Zweckmäßig für die Montage ist diese Teilfuge in der identischen Teilfugenebene gelegen, wie eine nicht dargestellte Teilfuge des Gehäuses CAS.

[0031] Grundsätzlich ist es auch denkbar, dass der Rotor zwischen zwei Laufrädern teilbar ausgebildet ist oder die Laufräder axial zueinander zum Zwecke der Montage verschieblich ausgebildet sind, so dass die Rückführstufen RTC ungeteilt ausgebildet sein können und schrittweise mit den Laufrädern IP1, IP2 des Rotors zusammen montiert werden, bevor ein Zusammenführung mit einem umgebenden Gehäuse stattfindet. Das Gehäuse CAS kann jedenfalls horizontal oder vertikal geteilt ausgebildet sein.

[0032] Die herkömmliche Ausbildung der Rückführstufe RCH, die in der Figur 1 gezeigt ist, sieht vor, dass der Schaufelboden RR, die Leitschaufeln VNS und der Zwischenboden DGP aneinander befestigt sind. Vorliegend ist dies mittels Schrauben SCR gemacht, die mittels strichpunktierter Linien vereinfacht dargestellt sind. Damit die Schrauben SCR einerseits den Schaufelboden RR an dem Zwischenboden DGP hinreichend befestigen und damit eine Mindeststärke aufweisen müssen, muss andererseits in den Leitschaufeln VNS eine hinreichend große Durchgangsbohrung vorgesehen werden, so dass das Profil der Leitschaufeln VNS hinreichend stark ausgebildet sein muss.

[0033] Figur 2 zeigt eine schematische perspektivische Darstellung einer Leitschaufel VNS einer erfindungsgemäßen Rückführstufe RCH. Die Leitschaufel VNS ist im Zusammenhang mit der Achse X und einer dazu senkrechten Radialrichtung R dargestellt. In der Figur 2 ist eine Referenzebene PRF, die durch die Achse X und die radiale Richtung R aufgespannt wird, an unterschiedlichen Stellen angedeutet, um geometrische Zusammenhänge zu illustrieren.

[0034] Die Leitschaufel VNS umfasst ein sich entlang einer Spannweite SPW erstreckendes Schaufelblatt VAF, dessen umströmten Oberflächen SFT sich von der

stromaufwärts befindlichen Eintrittskante LDE als eine Druckseite PRS und als eine Saugseite PCS entlang einer Skelettlinie SCL voneinander um Profilquerschnitte PRC beabstandet bis zu einer Austrittskante TLE erstrecken. An dem Ende der Spannweite sind zwei Tangenten TGT an der Skelettlinie SCL eingezeichnet und auch auf der Hälfte der Spannweite $\frac{1}{2}SPW$ verdeutlicht eine Tangente TGT an der Skelettlinie SCL, dass zu jedem Profilquerschnitt PRC ein Schaufelkonstruktionswinkel VCR zu der radial-axialen Referenzebene PRF für jeden Punkt der Skelettlinie SCL definiert ist. Eine Differenz zwischen dem Schaufelkonstruktionswinkel VCA an der Eintrittskante LDE und einem Schaufelkonstruktionswinkel VCA an einer stromabwärtigen Position definiert hier einen Umlenkungswinkel RDA ($RDA(SPW, SCL) = VCA(SPW, SCL = LDE) - VCA(SPW, SCL)$) für jeden Punkt der Skelettlinie SCL. Hieraus lässt sich ein mittlerer Gesamtumlenkungswinkel RAM als über die Spannweite SPW übermittelter Umlenkungswinkel RDA an der Austrittskante TLE bestimmen.

[0035] Die Figur 2 zeigt neben einer gebogenen Austrittskante TLE auch eine gerade Austrittskante TLE' und eine mit zwei Knicken versehene geknickte Austrittskante TLE", die durch das Fortschneiden bzw. Fortlassen von Anteilen des ursprünglichen Schaufelblatts VAF in den beiden Endbereichen der Spannweite SPW entstanden ist.

[0036] Figur 3 zeigt eine eingebaute Leitschaufel VNS einer erfindungsgemäßen Rückführstufe RCH. Der Bereich, in dem die Leitschaufel VNS in der Rückführstufe RCH vorgesehen ist, erstreckt sich im Wesentlichen von radial außen nach radial innen entlang der ersten Durchströmungsrichtung FD1 des Prozessfluids PF. Zur Befestigung der Anordnung erstreckt sich durch das Schaufelblatt VAF eine Schraube SCR in Spannweitenrichtung.

[0037] Die Figur 4 zeigt die gleiche Situation, wie die Figur 3 mit einer anders ausgebildeten Leitschaufel VNS. Die Leitschaufel VNS der Figur 4 ist zylindrisch ausgebildet und weist an beiden Enden der Spannweite SPW zurückgeschnittene Bereiche der Austrittskante TLE" auf. Diese Ausführung entspricht der Darstellung einer (TLE" der drei Alternativen in der Figur 2.

45 Patentansprüche

1. Rückführstufe (RCH) einer Radialturbomaschine (RTM) mit mindestens einer Leitschaufelstufe (VST), wobei die Rückführstufe (RCH) sich ringförmig um eine Achse (X) erstreckt, wobei die Rückführstufe (RCH) nach radial innen von einer inneren Grenzkontur (IDC) und nach radial außen von einer äußeren Grenzkontur (ODC) definiert ist, wobei entlang einer ersten Durchströmungsrichtung (FD1) die Rückführstufe (RCH) sich in einem ersten Abschnitt (SG1) nach radial außen erstreckt, wobei die Rückführstufe (RCH) sich in einem zwei-

ten Abschnitt (SG2) entlang der ersten Durchströmungsrichtung (FD1) eine bogenförmige Umlenkung beschreibend von radial außen nach radial innen erstreckt,

wobei die Rückführstufe (RCH) sich entlang der ersten Durchströmungsrichtung (FD1) in einem dritten Abschnitt (SG3) von radial außen nach radial innen erstreckt, wobei die Rückführstufe (RCH) sich entlang der ersten Durchströmungsrichtung (FD1) in einem vierten Abschnitt (SG4) eine bogenförmige Umlenkung beschreibend von radial innen nach axial erstreckt,

wobei die Rückführstufe (RCH) Leitschaufeln (VNS) umfasst, wobei die Leitschaufeln (VNS) jeweils ein sich entlang einer Spannweite (SPW) erstreckendes Schaufelblatt (VAF) umfassen, dessen umströmten Oberflächen sich von einer stromaufwärts befindlichen Eintrittskante (LDE) als eine Druckseite (PRS) und als eine Saugseite (PCS) entlang einer Skelettlinie (SCL) voneinander beabstandet um Profilquerschnitte (PRC) bis zu einer Austrittskante (TLE) erstrecken,

wobei eine Tangente an der Skelettlinie (SCL) eines jeden Profilquerschnitts (PRC) zu einer radial-axialen Referenzebene (PRF) einen Schaufelkonstruktionswinkel (VCA) für jeden Punkt der Skelettlinie (SCL) einschließt,

wobei eine Differenz zwischen einem Schaufelkonstruktionswinkel (VCA) an der Eintrittskante (LDE) und einem Schaufelkonstruktionswinkel (VCA) an einer stromabwärtigen Position einen Umlenkungswinkel (RDA) für jeden Punkt der Skelettlinie (SCL) eines jeden Profilquerschnitts (PRC) definiert,

wobei ein mittlerer Gesamtumlenkungswinkel (RAM) ein über die Spannweite (SPW) gemittelter Umlenkungswinkel (RDA) an der Austrittskante (TLE) ist,

wobei die Leitschaufeln (VNS) sich zumindest entlang eines Teils des dritten Abschnitts (SG3) erstrecken und die Rückführstufe (RCH) in Umfangsrichtung in Strömungskanäle segmentieren,

wobei die Austrittskanten (TLE) im dritten Abschnitt (SG3) angeordnet sind,

dadurch gekennzeichnet, dass

an den Austrittskanten (TLE) in der Mitte der Spannweite (SPW) der Umlenkungswinkel (RDA) jeweils größer ist als der mittlere Gesamtumlenkungswinkel (RAM),

wobei an den beiden Enden der Spannweite (SPW) zu jeweils mindestens 10% der Spannweite jeweils der Umlenkungswinkel (RDA) kleiner ist als der mittlere Gesamtumlenkungswinkel (RAM).

2. Rückführstufe (RCH) nach Anspruch 1, wobei die Eintrittskanten (LDE) jeweils im dritten Abschnitt (SG3) angeordnet sind.
3. Rückführstufe (RCH) nach Anspruch 1 oder 2, wobei

die Austrittskanten (TLE) jeweils eine Gerade beschreiben.

4. Rückführstufe (RCH) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Austrittskanten (TLE) gebogen oder geknickt ausgebildet sind.
5. Rückführstufe (RCH) nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, wobei an den beiden Enden der Spannweite (SPW) zu jeweils mindestens 7% der Spannweite die Skelettlinien (SCL) der dortigen Profilquerschnitte (PRC) kürzer als eine mittlere Skelettlinienlänge (SLL) ausgebildet sind.
6. Rückführstufe (RCH) nach den Ansprüchen 1, 2, 4 und 5, wobei die Leitschaufeln (VNS) eine gerade Eintrittskante aufweisen und im Wesentlichen zylindrisch ausgebildet sind, bis auf den Bereich an den beiden Enden der Spannweite (SPW), wobei an den Austrittskanten (TLE) zu jeweils mindestens 7% der Spannweite die Skelettlinien (SCL) der dortigen Profilquerschnitte (PRC) kürzer ausgebildet sind als eine mittlere Skelettlinienlänge (SLL).

Claims

1. Return stage (RCH) of a radial turbomachine (RTM) having at least one guide blade stage (VST), wherein the return stage (RCH) extends annularly around an axis (X), wherein the return stage (RCH) is defined radially inwards by an inner delimiting contour (IDC) and radially outwards by an outer delimiting contour (ODC), wherein, along a first flow direction (FD1), the return stage (RCH) extends radially outwards in a first section (SG1), wherein the return stage (RCH) extends from radially outwards to radially inwards, describing an arcuate deflection, in a second section (SG2) along the first flow direction (FD1), wherein the return stage (RCH) extends from radially outwards to radially inwards in a third section (SG3) along the first flow direction (FD1), wherein the return stage (RCH) extends from radially inwards to axially, describing an arcuate deflection, in a fourth section (SG4) along the first flow direction (FD1), wherein the return stage (RCH) comprises guide blades (VNS), wherein the guide blades (VNS) each comprise a turbine blade (VAF) which extends along a span width (SPW) and whereof the surfaces around which the flow circulates extend from a leading edge (LDE), located upstream, as a pressure side (PRS) and as a suction side (PCS), spaced from one another along a camber line (SCL) by profile cross-sections (PRC), to a trailing edge (TLE), wherein a tangent at the camber line (SCL) of each profile cross-section (PRC) to a radial-axial refer-

ence plane (PRF) encloses a blade construction angle (VCA) for each point of the camber line (SCL), wherein a difference between a blade construction angle (VCA) at the leading edge (LDE) and a blade construction angle (VCA) at a downstream position defines a deflection angle (RDA) for each point of the camber line (SCL) of each profile cross-section (PRC),

wherein a mean total deflection angle (RAM) is a deflection angle (RDA) at the trailing edge (TLE) which is averaged over the span width (SPW),

wherein the guide blades (VNS) extend at least along part of the third section (SG3) and segment the return stage (RCH) into flow channels in the circumferential direction,

wherein the trailing edges (TLE) are arranged in the third section (SG3),

characterized in that,

at the trailing edges (TLE) in the center of the span width (SPW), the deflection angle (RDA) is greater in each case than the mean total deflection angle (RAM),

wherein, at the two ends of the span width (SPW) to at least 10% of the span width in each case, the deflection angle (RDA) is smaller in each case than the mean total deflection angle (RAM) .

2. Return stage (RCH) according to Claim 1, wherein the leading edges (LDE) are each arranged in the third section (SG3) .
3. Return stage (RCH) according to Claim 1 or 2, wherein the trailing edges (TLE) each describe a straight line.
4. Return stage (RCH) according to Claim 1 or 2, wherein the leading edges (TLE) are designed to be curved or angled.
5. Return stage (RCH) according to Claim 1, 2, 3 or 4, wherein, at the two ends of the span width (SPW) to at least 7% of the span width in each case, the camber lines (SCL) of the profile cross-sections (PRC) there are designed to be shorter than a mean camber line length (SLL).
6. Return stage (RCH) according to Claims 1, 2, 4 and 5, wherein the guide blades (VNS) have a linear leading edge and are designed to be substantially cylindrical up to the region at the two ends of the span width (SPW), wherein, at the trailing edges (TLE) to at least 7% of the span width in each case, the camber lines (SCL) of the profile cross-sections (PRC) there are designed to be shorter than a mean camber line length (SLL).

Revendications

1. Etage (RCH) de retour d'une turbomachine (RTM) radiale, comprenant au moins un étage (VST) d'aubes directrices, l'étage (RCH) de retour s'étendant annulairement autour d'un axe (X), dans lequel l'étage (RCH) de retour est défini, vers l'intérieur radialement, par un contour (IDC) limite intérieur et, vers l'extérieur radialement, par un contour (ODC) limite extérieur, dans lequel, suivant une première direction (FD1) d'écoulement, l'étage (RCH) de retour s'étend dans une première partie (SG1) vers l'extérieur radialement, dans lequel l'étage (RCH) de retour s'étend, suivant la première direction (FD1) d'écoulement, dans une deuxième partie (SG2), de l'extérieur radialement vers l'intérieur radialement, en décrivant un renvoi en forme d'arc, dans lequel l'étage (RCH) de retour s'étend, suivant la première direction (FD1) d'écoulement, dans une troisième partie (SG3), de l'extérieur radialement vers l'intérieur radialement, dans lequel l'étage (RCH) de retour s'étend, suivant la première direction (FD1) d'écoulement, dans une quatrième partie (SG4), de l'intérieur radialement vers l'axe, en décrivant un renvoi en forme d'arc, dans lequel l'étage (RCH) de retour comprend des aubes (VNS) directrices, dans lequel les aubes (VNS) directrices comprennent chacune un corps (VAF) d'aube, s'étendant suivant une envergure (SPW), dont les surfaces d'écoulement autour de lui s'étendent jusqu'à un bord (TLE) de sortie d'un bord (LDE) d'entrée se trouvant en amont, sous la forme d'un intrados (PRS) et sous la forme d'un extrados (PCS), en étant à distance les unes des autres, suivant une ligne (SCL) de squelette de la section (PRC) transversale de profil, dans lequel une tangente de la ligne (SCL) de squelette d'une section (PRC) transversale de profil quelconque fait un angle (VCA) de construction d'aube avec un plan (PRF) de référence radial-axial pour chaque point de la ligne (SCL) de squelette, dans lequel une différence entre un angle (VCA) de construction d'aube au bord (LDE) d'entrée et un angle (VCA) de construction d'aube à une position en aval définit un angle (RDA) de renvoi pour chaque point de la ligne (SCL) de squelette d'une section (PRC) transversale de profil quelconque, dans lequel un angle (RAM) de renvoi total en moyenne est un angle (RDA) de renvoi en moyenne sur l'envergure (SPW) au bord (TLE) de sortie, dans lequel les aubes (VNS) directrices s'étendent au moins suivant une partie de la troisième partie (SG3) et segmentent l'étage (RCH) de renvoi dans la direction du pourtour en canaux d'écoulement, dans lequel les bords (TLE) de sortie sont disposés dans la troisième partie (SG3),

- caractérisé en ce que**, au bord (TLE) de sortie, au milieu de l'envergure (SPW), l'angle (RDA) de renvoi est, respectivement, plus grand que l'angle (RAM) de renvoi total en moyenne, dans lequel, au deux extrémités de l'envergure (SPW), pour, respectivement, au moins 10% de l'envergure, respectivement, l'angle (RDA) de renvoi est plus petit que l'angle (RAM) de renvoi total en moyenne. 5
- 10
2. Etage (RCH) de renvoi suivant la revendication 1, dans lequel les bords (LDE) d'entrée sont disposés chacun dans la troisième partie (SG3). 10
3. Etage (RCH) de renvoi suivant la revendication 1 ou 2, dans lequel les bords (TLE) de sortie décrivent chacun une droite. 15
4. Etage (RCH) de renvoi suivant la revendication 1 ou 2, dans lequel les bords (TLE) de sortie sont incurvés ou coudés. 20
5. Etage (RCH) de renvoi suivant la revendication 1, 2, 3 ou 4, dans lequel, aux deux extrémités de l'envergure (SPW), pour, respectivement, au moins 7% de l'envergure, les lignes (SCL) de squelette des sections (PRC) transversales de profil, qui s'y trouvent, sont plus courtes qu'une longueur (SCL) moyenne de lignes de squelette. 25
- 30
6. Etage (RCH) de renvoi suivant les revendications 1, 2, 4 et 5, dans lequel les aubes (VNS) directrices ont un bord d'entrée droit et sont sensiblement cylindriques, à l'exception de la région aux deux extrémités de l'envergure (SPW), dans lequel aux bords (TLE) de sortie, pour, respectivement, au moins 7% de l'envergure, les lignes (SCL) de squelette des sections (PRC) transversales de profil, qui s'y trouvent, sont plus courtes qu'une longueur (SLL) moyenne des lignes de squelette. 35
- 40
- 45
- 50
- 55

FIG 1

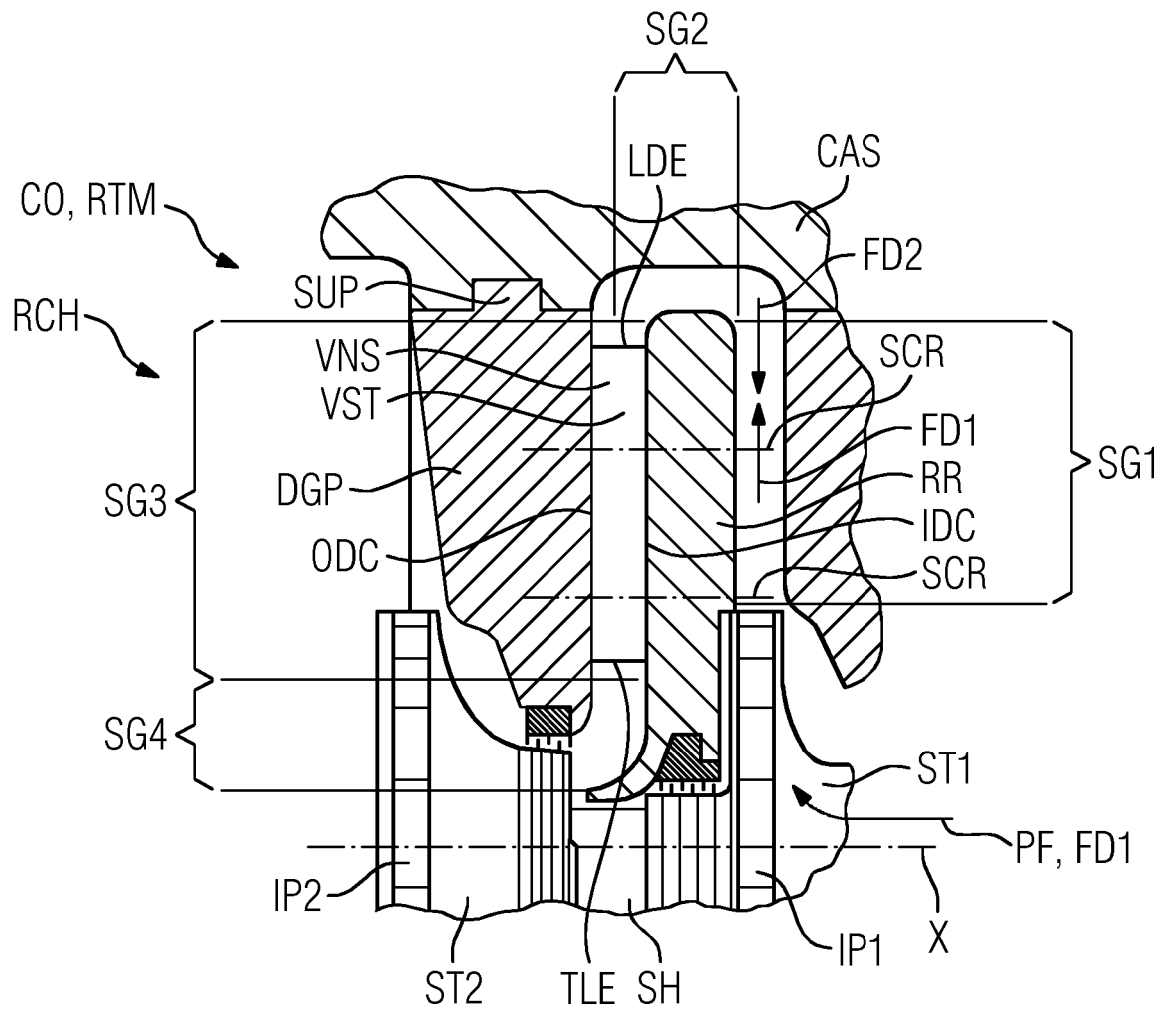


FIG 2

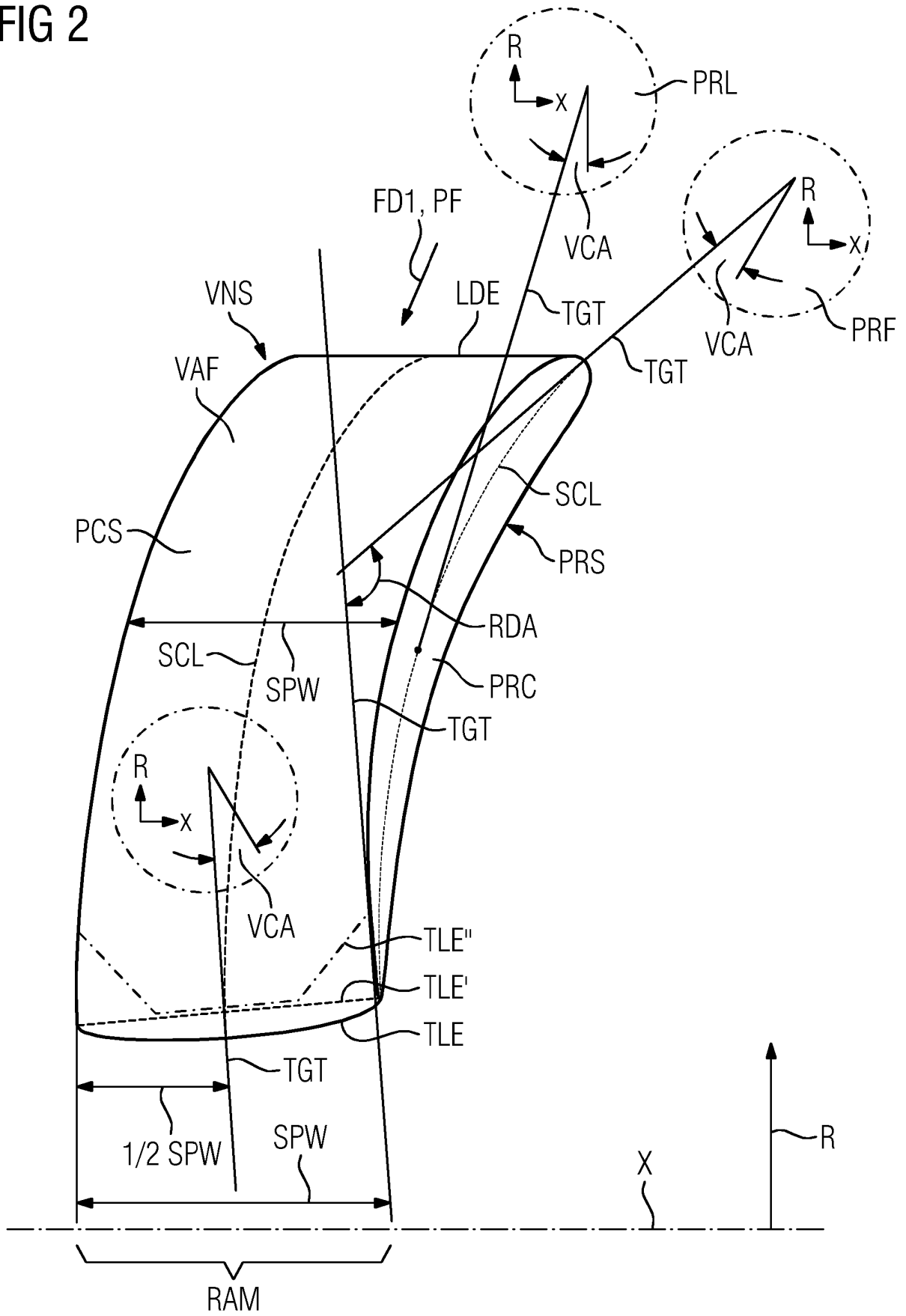


FIG 3

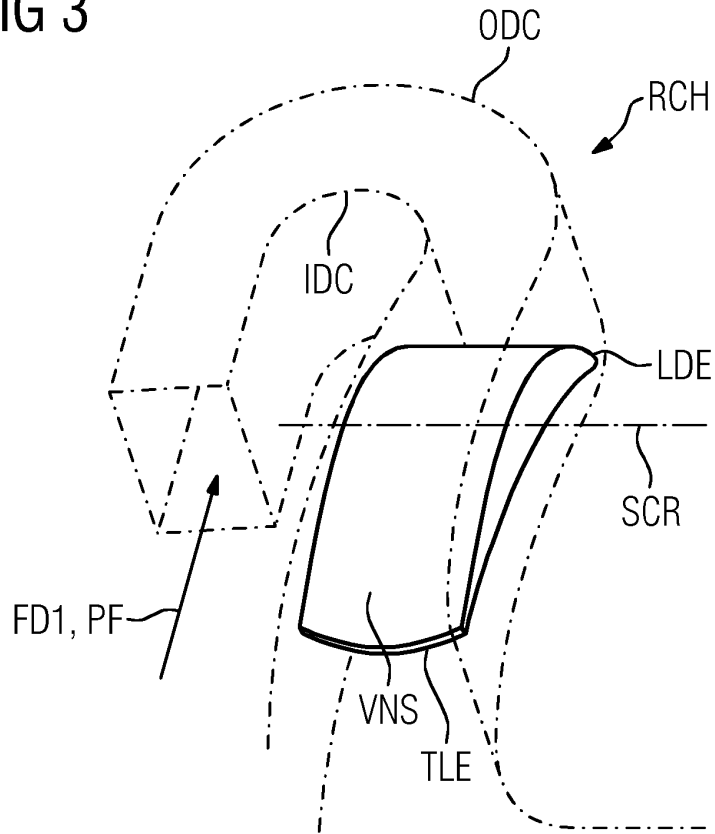
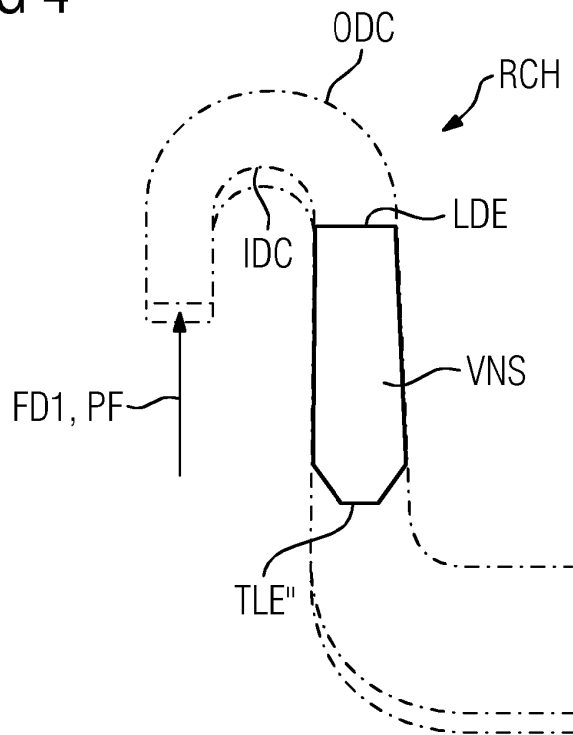


FIG 4



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 102014203251 A1 [0005]
- DE 3430307 A1 [0005]
- EP 592803 B1 [0005]
- US 20100272564 A1 [0005]
- WO 2014072288 A1 [0005]
- WO 2016047256 A [0006]
- US 2010272564 A1 [0006]
- DE 102014223833 A1 [0007]
- JP H11173299 A [0007]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Design exploration of a return channel for multistage centrifugal compressors. *Konferenz "Proceedings of the ASME Turbo Expo, 2016* [0008]