



(11)

EP 3 361 101 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
15.08.2018 Patentblatt 2018/33

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

(21) Anmeldenummer: 17155607.9

(22) Anmeldetag: 10.02.2017

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

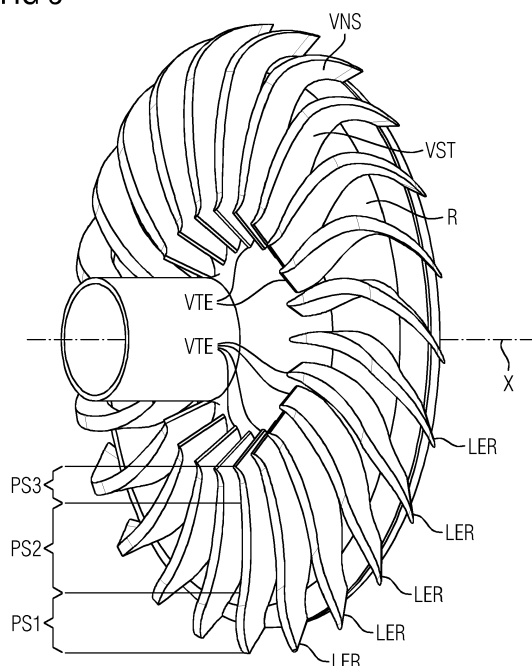
(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder: **Hermes, Viktor**
47051 Duisburg (DE)

(54) **RÜCKFÜHRSTUFE EINES MEHRSTUFIGEN VERDICHTERS ODER EXPANDERS MIT VERDREHTEN LEITSCHAUFELN**

(57) Die Erfindung betrifft eine Rückführstufe (RTC) zur Durchströmung mittels eines Prozessfluids entlang einer Durchströmungsrichtung einer Radialturbomaschine (RTM), insbesondere Radialturboverdichterrückführstufe (RCC), wobei die Rückführstufe (RTC) sich ringförmig um eine Achse (X) erstreckt, wobei die Rückführstufe (RTC) nach radial innen von einer inneren Grenzkontur (IDC) und nach radial außen von einer äußeren Grenzkontur (ODC) definiert ist, wobei mindestens eine Leitschaufelstufe (VST) umfassend Leitschaufeln (VNS) sich zumindest entlang eines Teils des dritten Abschnitts (SG3) erstreckt und die Rückführstufe in Umfangsrichtung in Strömungskanäle segmentiert, wobei jeweils eine Profilmittellinie (PML) eines Profilquerschnitts (PRC) der Leitschaufeln (VNS) der Leitschaufelstufe (VST) seitens der inneren Grenzkontur (IDC) eine innere Spur (ITR) und seitens der äußeren Grenzkontur (ODC) eine äußere Spur (OTR) definiert. Daneben betrifft die Erfindung eine Radialturbomaschine (RTM), insbesondere einen Radialturboverdichter (CO) mit mindestens einer derartigen Rückführstufe. Zur Verbesserung der Aerodynamik wird vorgeschlagen, die Leitschaufeln (VNS) in einem mittleren zweiten Profilabschnitt (PS2) im Wesentlichen zylindrisch auszuführen und ansonsten dreidimensional zu gestalten.

FIG 3



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Rückführstufe zur Durchströmung mittels eines Prozessfluids entlang einer Durchströmungsrichtung einer Radialturbomaschine, insbesondere Radialturboverdichterrückführstufe, 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 außen 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 mindestens eine Leitschaufelstufe umfassend Leitschaufeln sich zumindest entlang eines Teils des dritten Abschnitts erstreckt und die Rückführstufe in Umfangsrichtung in Strömungskanäle segmentiert, wobei jeweils eine Profilmittellinie eines Profilquerschnitts der Leitschaufeln der Leitschaufelstufe seitens der inneren Grenzkontur eine innere Spur und seitens der äußeren Grenzkontur eine äußere Spur definiert. Daneben betrifft die Erfindung eine Radialturbomaschine, insbesondere einen Radialturboverdichter mit mindestens einer derartigen Rückführstufe.

[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. 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.

[0004] 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.

[0005] Neben der Rückführung des Prozessfluides in Richtung der Rotationsachse und der Umlenkung der Strömungsrichtung des Prozessfluids in axiale Richtung sind in den Rückführstufen regelmäßig 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.

[0006] Die übliche Ausfertigung einer Rückführstufe sieht vor, dass dieses Gesamtbauteil 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 gewährleistet ist.

[0007] 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.

[0008] Die herkömmlichen Rückführstufen des Standes der Technik weisen unterschiedliche Nachteile auf, die die Erfindung zu vermeiden versucht. Die geometrisch eher einfach gestalteten Rückführstufen sind zum größten Teil aerodynamisch schlechter an die strömungstechnische Aufgabe angepasst, so dass die komplexe dreidimensionale Strömungssituation zumindest teilweise unberücksichtigt bleibt, insbesondere über die Schaufelhöhe bleiben Unterschiede unbeachtet und dementsprechend treten unverhältnismäßig große Strömungsverluste auf, die den Wirkungs-

grad mindern. Andere Lösungen, insbesondere die Rückführstufe nach WO2014072288A1 sehen eine vollständig dreidimensional ausgebildete Beschau felung der Rückführstufe vor, die fertigungstechnisch sehr schwierig umzusetzen ist und eine aufwändige individuelle Auslegung erfordert, damit sich jedenfalls ein besserer Wirkungsgrad als bei der einfachen Geometrie ergibt. Daneben ergeben sich große Probleme in der Montage der Rückführstufe, da die Beschau felung aufgrund der dreidimensionalen Ausbildung häufig nicht in der Lage ist, herkömmliche Befestigungselemente zwischen Schaufelboden und Zwischenboden durch die Leitschau feln sich erstreckend zuzulassen. An dieser Stelle müssen dann ggf. teure Speziallösungen eingesetzt werden, so dass ein derartiges Konzept schließlich chancenlos am Markt ist.

[0009] Die Erfindung hat es sich daher zur Aufgabe gemacht, die Eigenschaften vereinfachte Fertigung, optimierte Aerodynamik und einfache Montage miteinander zu vereinen.

[0010] Zur Lösung der Aufgabe wird erfindungsgemäß eine Rückführstufe bzw. eine Radialturbomaschine gemäß der Ansprüche 1 bzw. 8 vorgeschlagen. Die jeweils rückbezogenen Unteransprüche beinhalten vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

[0011] Grundsätzlich dient die Rückführstufe einer Radialturbomaschine dazu, das Prozessfluid von einem stromaufwärts gelegenen Laufrad aus der nach radial außen gerichteten Strömungsrichtung wieder nach radial innen umzulenken und axial dem nachfolgenden stromabwärts gelegenen Laufrad zuzuführen. 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 sich in der Rückführstufe befindende Leitschau felstufe umfasst Leitschau feln, die die Ringform der Rückführstufe in Umfangsrichtung in einzelne Kanäle segmentieren. Grundsätzlich können diese Leitschau feln auch Unterbrechungen (split) aufweisen, sind aber nach der Erfindung bevorzugt entlang der ersten Strömungsrichtung ununterbrochen ausgebildet. Die Leitschau feln 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 Leitschau fel lässt sich in eine Ebene abwickeln, zu einer zweidimensionalen Darstellung. Eine Profilmittellinie der aufeinandergestapelten Profile der Leitschau feln ist erzeugbar mittels Mittelpunkten eingeschriebener Kreise in dem Profil.

[0013] Auf diese Weise lässt sich eine Profilmittellinienlaufkoordinate entlang der ersten Durchströmungsrichtung entlang einer mittleren Höhe der jeweiligen Leitschau fel definieren. Die Länge der Leitschau fel entlang dieser Koordinate ist zweckmäßig normiert auf eine Gesamtlänge 1.

[0014] Die Höhenrichtung der Leitschau fel wird vorliegend als die Richtung definiert, die senkrecht zu der Durchströmungsrichtung - insbesondere zur ersten Durchströmungsrichtung - und senkrecht zu der Umfangsrichtung orientiert ist.

[0015] Die Profilmittellinie der Leitschau fel unmittelbar angrenzend an der äußeren Grenzkontur des ringförmigen Kanals der Rückführstufe wird hier als äußere Spur der Leitschau fel bezeichnet und die Profilmittellinie des unmittelbar an der inneren Grenzkontur befindlichen Profilquerschnitts der Leitschau fel wird als die innere Spur der Leitschau fel 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.

[0016] Der Umfangspositionswinkel bestimmt die jeweilige Position in Umfangsrichtung der in Bezug genommenen Bauteile - hier im Wesentlichen Referenzpunkte oder Linien der Leitschau feln, z.B. Punkte auf Profilmittellinien von bestimmten Profilquerschnitten. Die positive Verlaufsrichtung des Umfangspositionswinkels ist hierbei entgegen der Rotationsrichtung der Welle bzw. des Rotors gewählt. Der Scheitelpunkt dieses Winkels fällt mit der zentralen Achse zusammen. Für den Fachmann ist die Rückführstufe stets mit einer strömungstechnischen Aufgabenstellung verbunden, so dass eine Loslösung der Begriffswelt der Rückführstufe von der Rotationsrichtung der Turbomaschine grundsätzlich nicht zweckmäßig ist.

[0017] Die drei Profilabschnitte der Leitschau feln der Leitschau felstufe unterscheiden sich aufgrund der Schwerpunkte ihrer Funktionen erfindungsgemäß voneinander. Der erste und der dritte Profilabschnitt stehen in starkem Zusammenhang mit einer bogenförmigen Umlenkung des Prozessfluids, wobei der zweite Profilabschnitt weniger die bogenförmige Umlenkung als strömungstechnische Aufgabe aufweist. Alle drei Profilabschnitte stehen im Zusammenhang entweder mit einer Verzögerung oder Beschleunigung des Prozessfluids, so dass auch dahingehend anspruchsvolle überlagerte aerodynamische Vorgänge stattfinden. Der zweite Profilabschnitt ist darüber hinaus noch besonders bevorzugt, der Hindurchführung mindestens eines Befestigungselementes für den Zwischenboden an dem Schaufelboden zu dienen.

Diesen Gegebenheiten trägt die Erfindung im besonderen Maße Rechnung. Vorteilhaft homogenisiert die Erfindung die Strömung über die Höherer Streckung der Leitschaufeln, indem jeweils für Werte von L in den Profilabschnitten gilt:

in dem ersten Profilabschnitt (PS1):

$$\theta_{\text{OTR}}(L) \neq \theta_{\text{ITR}}(L) \quad \text{und} \quad (\theta_{\text{OTR}}(L) - \theta_{\text{ITR}}(L))' \neq 0,$$

in dem zweiten Profilabschnitt (PS2): $\theta_{\text{OTR}}(L) = \theta_{\text{ITR}}(L)$ und $(\theta_{\text{OTR}}(L) - \theta_{\text{ITR}}(L))' = 0$,
in dem dritten Profilabschnitt (PS3):

$$\theta_{\text{OTR}}(L) \neq \theta_{\text{ITR}}(L) \quad \text{und} \quad (\theta_{\text{OTR}}(L) - \theta_{\text{ITR}}(L))' \neq 0.$$

[0018] Besonders zweckmäßig ist eine weiterbildende Ausbildung, bei der in dem ersten Profilabschnitt gilt:

$$\theta_{\text{OTR}}(L) - \theta_{\text{ITR}}(L) > 0,$$

wobei in dem dritten Profilabschnitt (PS3) gilt:

$$\theta_{\text{OTR}}(L) - \theta_{\text{ITR}}(L) < 0.$$

[0019] Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass gilt:

$$(\theta_{\text{OTR}}(L) - \theta_{\text{ITR}}(L))' = 0 \quad \text{für genau ein } L \ni \text{PS1},$$

$$(\theta_{\text{OTR}}(L) - \theta_{\text{ITR}}(L))' = 0 \quad \text{für genau ein } L \ni \text{PS2}.$$

[0020] Der mittlere, zweite Profilabschnitt erstreckt sich vorteilhaft von höchstens $L=0,4$ bis mindestens $L=0,6$.

[0021] Zur Befestigung des Zwischenbodens an dem Schaufelboden ist es sinnvoll, wenn zumindest einige der Leitschaufeln in dem zweiten Profilabschnitt eine sich von einem Punkt der Innenspur zu einem Punkt der Außenspur erstreckende Ausnehmung aufweisen zur Durchführung eines Befestigungselements zwischen der inneren Grenzkontur und der äußeren Grenzkontur. Bevorzugt ist diese Ausnehmung zu den lateralen Schaufelprofiloberflächen hin geschlossen. Besonders bevorzugt weist die Ausnehmung eine zentrale gerade Erstreckungsachse auf und kann insbesondere als Bohrung ausgeführt sein.

[0022] Der Wirkungsgrad der Rückführstufe kann weiter optimiert werden, wenn die Leitschaufeln jeweils mit einer Eintrittskante jeweils in dem zweiten Abschnitt angeordnet sind, bevorzugt in einem Bereich der bogenförmigen Umlenkung des zweiten Abschnitts zwischen 0° - 90° eines ersten Umlenkungswinkels zur zentralen Achse.

[0023] Der Umlenkungswinkel ist bei den bogenförmigen Umlenkungen in der Rückführstufe jeweils die Winkeldifferenz einer Projektion der jeweiligen Durchströmungsrichtung, insbesondere der ersten Durchströmungsrichtung, der Rückführstufe in einer axial-radialen Ebene eingangs zu ausgangs des betrachteten umlenkenden Abschnitts.

[0024] Eine weitere Verbesserung der Aerodynamik ergibt sich dadurch, dass die Leitschaufeln jeweils mit einer Austrittskante jeweils in dem vierten Abschnitt angeordnet sind, bevorzugt in einem Bereich der bogenförmigen Umlenkung des vierten Abschnitts zwischen 0° - 60° zweiten Umlenkungswinkel zur Achse.

[0025] Eine Radialturbomaschine nach der Erfindung umfasst eine Rückführstufe der bereits beschriebenen Art, wobei die Achse, um die sich die Rückführstufe ringförmig erstreckt mit der Rotationsachse eines Rotors bzw. einer Welle, die Laufräder trägt, identisch ist. Die Rückführstufe führt hierbei die Strömung entlang der ersten Durchströmungsrichtung von einem Laufrad zu einem stromabwärts gelegenen Laufrad.

[0026] Besonders zweckmäßig ermöglicht die Erfindung, dass das Verhältnis von einem Zwischendurchmesser zu einem Austrittsdurchmesser kleiner als 1,5, insbesondere kleiner als 1,4 ist, wobei der Austrittsdurchmesser der Austrittsdurchmesser des stromaufwärts der Rückführstufe gelegenen Laufrades ist und der Zwischendurchmesser der Durchmesser des Übergangsquerschnitts der Rückführstufe von dem ersten Abschnitt zu dem zweiten Abschnitt ist.

[0027] Im Folgenden ist die Erfindung anhand eines speziellen Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen schematisch:

Figur 1 ein axialer Längsschnitt durch den Ausschnitt eines Gehäuses einer Radialturbomaschine mit einer Rückführstufe und Laufrädern,

Figur 2 zeigt eine Darstellung eines Querschnitts gemäß dem in Figur 1 ausgewiesenen Schnitt II-II,

Figur 3 zeigt eine dreidimensionale Widergabe der Leitschaufelstufe einer erfindungsgemäßen Rückführstufe zusammen mit einem Zwischenboden und

Figur 4 zeigt den Umfangspositionswinkeldifferenzverlauf zwischen der äußeren Spur und der inneren Spur der Profilmittellinie einzelner Leitschaufeln der Leitschaufelstufe der Rückführstufe aufgetragen über die auf 1 (dimensionslos) normierte Profillängenlaufoordinate entlang der ersten Strömungsrichtung.

[0028] Figur 1 zeigt eine Rückführstufe RC einer Radialturbomaschine RTM, die als Radialturboverdichter CO ausgebildet ist.

[0029] Die hier beispielhaft für einen Radialturboverdichter CO erläuterten Bauteile sind bauidentisch 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, sofern nicht anders angegeben.

[0030] Figur 1 zeigt Teile zweier aufeinanderfolgend durchströmter Stufen, einer ersten Stufe ST1 und einer zweiten Stufe ST2 einer ausschnittsweise dargestellten Radialturbomaschine RTM bzw. Radialturboverdichters CO, wobei eine Rückführstufe RTC 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.

[0031] 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 RTC. 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 Laufrad IP2, um dort wieder radial nach außen beschleunigt zu werden.

[0032] Die Rückführstufe RTC 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.

[0033] In nicht näher dargestellter Weise weist die Rückführstufe RTC 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.

[0034] 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.

[0035] Die herkömmliche Ausbildung der Rückführstufe RTC, 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.

[0036] Die Leitschaufeln sind entlang der ersten Durchströmungsrichtung FD1 in drei aufeinanderfolgende Profilabschnitte PS aufgeteilt:

einen ersten Profilabschnitt PS1,
einen zweiten Profilabschnitt PS2,
einen dritten Profilabschnitt PS3.

[0037] Figur 2 zeigt schematisch einen Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Radialturbomaschine RTM, wie er in der Figur 1 mit II-II ausgewiesen ist. Das auf der Welle SH montierte erste Laufrad IP1 ist entlang der Rotationsrichtung ROT um die Achse X drehbar gelagert. Exemplarisch sind die Richtungen radial horizontal und vertikal eingezeichnet. Der Umfangspositionswinkel θ verläuft positiv entgegen der Rotationsrichtung ROT. Das erste Laufrad IP1 weist exemplarisch eingezeichnet Laufschaufeln IPB einer Laufschaufelstufe auf. Für eine Laufschaufel IPB ist die Austrittskante TEI eingetragene. Stromabwärts des ersten Laufrads IP1 erstreckt sich die Rückführstufe RTC. Die Rückführstufe RTC weist eine Leitschaufelstufe VST auf, mit Leitschaufeln VNS, von denen eine exemplarisch eingezeichnet ist. Die schematisch eingezeichnete Leitschaufel VNS ist nur mit ihrer Eintrittskante LER dargestellt. Insgesamt zeigt die Figur 2 den Zusammenhang zwischen der Rotationsrichtung ROT der Welle SH bzw. der Laufräder IP1, IP2 und dem Umfangspositionswinkel θ .

[0038] Figur 3 zeigt dreidimensionale Teile der Rückführstufe RTC, nämlich die Leitschaufelstufe VST mit den Leitschaufeln VNS und deren dreidimensionale Gestaltung.

[0039] Die Figur 4 zeigt den Verlauf der Differenz zwischen dem Umfangspositionswinkel der äußeren Spur zu der inneren Spur aufgetragen über der Profilmittellinienlaufkoordinate L, die normiert auf eine gesamte Länge 1 angegeben ist. Eine erste Alternative ALT1 sieht vor, dass die Differenz zunächst positiv ist und anschließend bei ca. 0,3L auf 0 abfällt und dort konstant verläuft bis bei ca. 0,65L $\Delta\theta$ ins Negative abfällt. Eine zweite Alternative ALT2 sieht vor, dass die Umfangspositions winkeldifferenz $\Delta\theta$ zunächst positiv ist im Bereich der Eintrittskante LER, anschließend ins Negative abfällt, dort ein lokales Minimum aufweist und wieder aufsteigt bis zu einer Differenz von 0 bei etwa 0,3L. Dort bleibt $\Delta\theta$ bis etwa 0,65L konstant und steigt anschließend ins Positive an, bis zu einem lokalen Maximum, um anschließend wieder ins Negative abzufallen. In beiden Fällen ist in einem ersten Profilabschnitt PS1 die Umfangspositions winkeldifferenz (bis auf einen Kreuzungspunkt mit der 0-Achse) ungleich 0, ebenso, wie in dem dritten Profilabschnitt PS3. In dem zweiten Profilabschnitt PS2 in der Mitte der jeweiligen Leitschaufel VNS ergibt sich eine Umfangspositions winkeldifferenz von 0 konstant.

Patentansprüche

1. Rückführstufe (RTC) zur Durchströmung mittels eines Prozessfluids entlang einer Durchströmungsrichtung einer Radialturbomaschine (RTM), insbesondere Radialturboverdichterrückführstufe (RCC),
wobei die Rückführstufe (RTC) sich ringförmig um eine Achse (X) erstreckt,
wobei die Rückführstufe (RTC) 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 (RTC) sich in einen ersten Abschnitt (SG1) nach radial außen erstreckt,
wobei die Rückführstufe (RTC) sich in einem zweiten Abschnitt (SG2) entlang der ersten Durchströmungsrichtung (FD1) eine bogenförmige Umlenkung beschreibend von radial außen nach radial innen erstreckt,
wobei die Rückführstufe (RTC) sich entlang der ersten Durchströmungsrichtung (FD1) in einem dritten Abschnitt (SG3) von radial außen nach radial innen erstreckt, wobei die Rückführstufe (RTC) sich entlang der ersten Durchströmungsrichtung (FD1) in einem vierten Abschnitt (SG4) eine bogenförmige Umlenkung beschreibend von radial innen nach axial erstreckt,
wobei mindestens eine Leitschaufelstufe (VST) umfassend Leitschaufeln (VNS) sich zumindest entlang eines Teils des dritten Abschnitts (SG3) erstreckt und die Rückführstufe in Umfangsrichtung in Strömungskanäle segmentiert, wobei jeweils eine Profilmittellinie (PML) eines Profilquerschnitts (PRC) der Leitschaufeln (VNS) der Leitschaufelstufe (VST) seitens der inneren Grenzkontur (IDC) eine innere Spur (ITR) und seitens der äußeren Grenzkontur (ODC) eine äußere Spur (OTR) definiert,
wobei die Verläufe der inneren Spur (ITR) bzw. äußeren Spur (OTR) definierbar sind als:

$$\theta(L) = F_{\theta}(L)$$

$$R(L) = F_R(L)$$

mit

θ : Umfangspositionswinkel in Rotationsrichtung der Radialturbomaschine (RTM) mit Scheitelpunkt an Achse (X),
 L: Profilmittellinienlaufkoordinate entlang der ersten Durchströmungsrichtung (FD1) entlang einer mittleren Höhe
 der jeweiligen Leitschaufel (VNS) normiert auf eine Gesamtlänge 1,
 $F_{\theta}(L)$: funktioneller Zusammenhang zwischen Umfangspositionswinkel θ und Position L auf der Profilmittellinie,
 R: Radius der Position von innerer Spur (ITR) bzw. äußerer Spur (OTR),

wobei die Leitschaufeln (VNS) entlang der ersten Durchströmungsrichtung (FD1) drei aufeinanderfolgende Profilabschnitte (PS) aufweisen:

einen ersten Profilabschnitt (PS1),
 einen zweiten Profilabschnitt (PS2),
 einen dritten Profilabschnitt (PS3),

dadurch gekennzeichnet,
dass jeweils für Werte von L in den Profilabschnitten gilt:

in dem ersten Profilabschnitt (PS1):

$$\theta_{OTR}(L) \neq \theta_{ITR}(L) \quad \text{und} \quad (\theta_{OTR}(L) - \theta_{ITR}(L))' \neq 0,$$

in dem zweiten Profilabschnitt (PS2):

$$\theta_{OTR}(L) = \theta_{ITR}(L) \quad \text{und} \quad (\theta_{OTR}(L) - \theta_{ITR}(L))' = 0,$$

in dem dritten Profilabschnitt (PS3):

$$\theta_{OTR}(L) \neq \theta_{ITR}(L) \quad \text{und} \quad (\theta_{OTR}(L) - \theta_{ITR}(L))' \neq 0.$$

2. Rückführstufe (RTC) nach Anspruch 1,
 wobei in dem ersten Profilabschnitt (PS1) gilt:

$$\theta_{OTR}(L) - \theta_{ITR}(L) > 0,$$

wobei in dem dritten Profilabschnitt (PS3) gilt:

$$\theta_{OTR}(L) - \theta_{ITR}(L) < 0.$$

3. Rückführstufe (RTC) nach Anspruch 1 oder 2, wobei gilt:

$$(\theta_{OTR}(L) - \theta_{ITR}(L))' = 0 \quad \text{für genau ein } L \in \text{PS1}$$

$$(\theta_{OTR}(L) - \theta_{ITR}(L))' = 0 \quad \text{für genau ein } L \in \text{PS2}.$$

4. Rückführstufe (RTC) nach Anspruch 1, 2 oder 3,
 wobei sich der zweite Profilabschnitt (PS2) erstreckt von höchstens $L=0,4$ bis mindestens $L=0,6$.

5. Rückführstufe (RTC) nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4,
 wobei zumindest einige der Leitschaufeln (VNS) in dem zweiten Profilabschnitt (PS2) eine sich von einem Punkt

der Innenspur zu einem Punkt der Außenspur erstreckende Ausnehmung aufweisen zur Durchführung eines Befestigungselements zwischen der inneren Grenzkontur (IDC) und der äußeren Grenzkontur (ODC).

6. Rückführstufe (RTC) nach Anspruch 1, 2, 3, 4 oder 5,
wobei die Leitschaufeln (VNS) jeweils mit einer Eintrittskante (VLE) jeweils in dem zweiten Abschnitt (SG2) angeordnet sind, bevorzugt in einem Bereich der bogenförmigen Umlenkung des zweiten Abschnitts (SG2) zwischen 0°-90° eines ersten Umlenkungswinkels (BA1).
7. Rückführstufe (RTC) nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5 oder 6,
wobei die Leitschaufeln (VNS) jeweils mit einer Austrittskante (VTE) jeweils in dem vierten Abschnitt (SG4) angeordnet sind, bevorzugt in einem Bereich der bogenförmigen Umlenkung des vierten Abschnitts (SG2) zwischen 0°-60° eines zweiten Umlenkungswinkels (BA2).
8. Radialturbomaschine (RTM), insbesondere Radialturboverdichter, mit mindestens einer Rückführstufe (RTC) nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5, 6 oder 7, wobei die Radialturbomaschine (RTM) einen um die Achse (X) drehbar gelagerten Rotor (ROT) aufweist, der mindestens zwei Laufräder (IP1, IP2) umfasst, wobei die Rückführstufe (RTC) die Strömung entlang der ersten Durchströmungsrichtung (FD1) von einem Laufrad (IP1, IP2) zu einem stromabwärtigen Laufrad (IP1, IP2) führt.
9. Radialturbomaschine (RTM) nach Anspruch 8,
wobei der Laufräder (IP1, IP2) stromaufwärts der Rückführstufe (RTC) einen Austrittsdurchmesser (D2) aufweist, wobei der Übergangsquerschnitt der Rückführstufe von dem ersten Abschnitt (SG1) zu dem zweiten Abschnitt (SG2) auf einem Zwischendurchmesser (DRR) angeordnet ist, wobei gilt:

$$DRR/D2 < 1,5, \text{ insbesondere } DRR/D2 < 1,4$$

mit:

D2: Austrittsdurchmesser Laufräder (IP1, IP2)

DRR: Zwischendurchmesser Übergangsquerschnitt der Rückführstufe von dem ersten Abschnitt (SG1) zu dem zweiten Abschnitt (SG2).

FIG 1

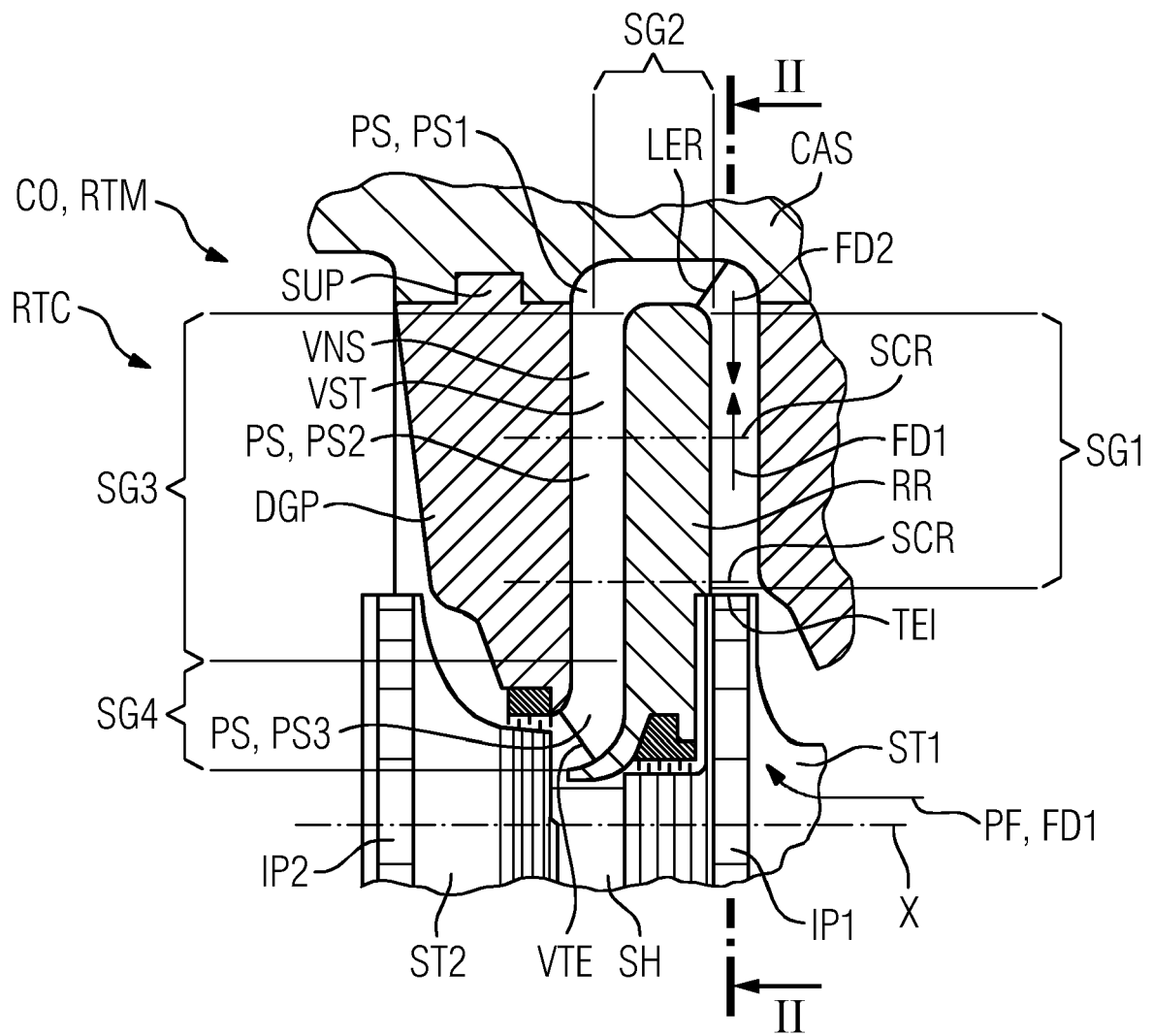


FIG 2

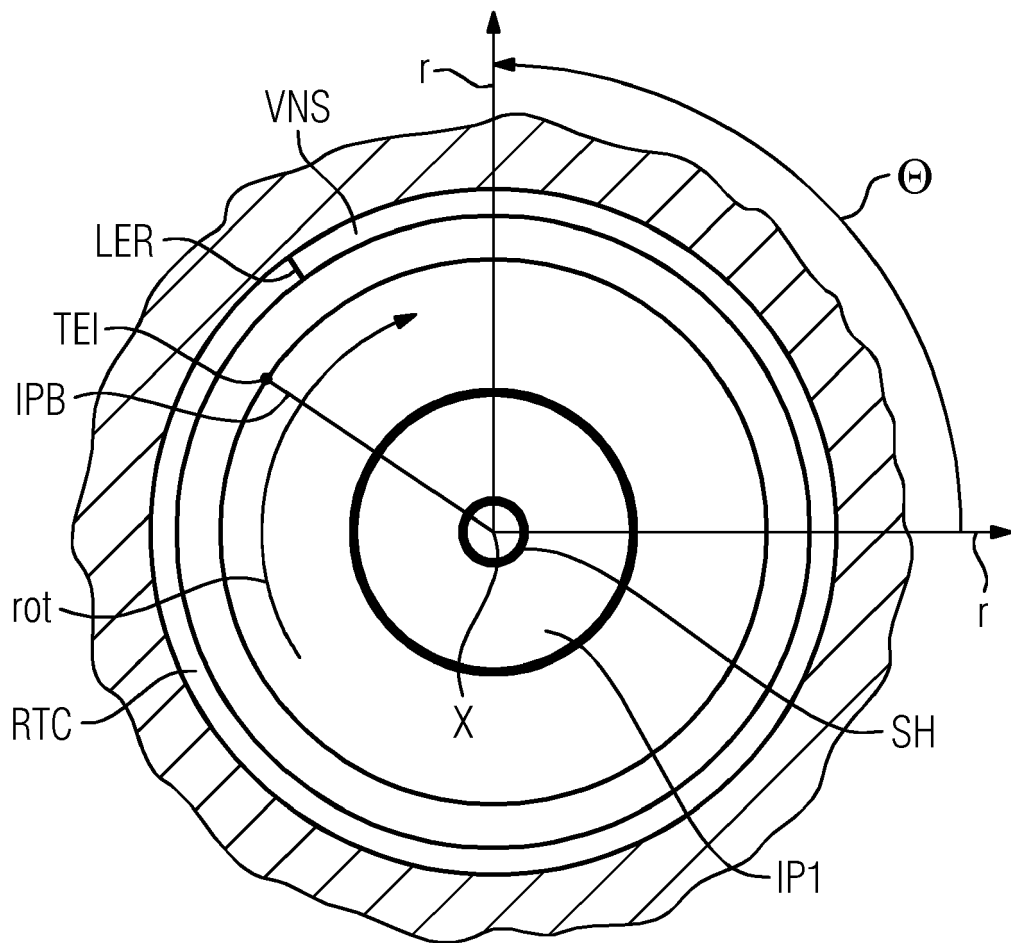


FIG 3

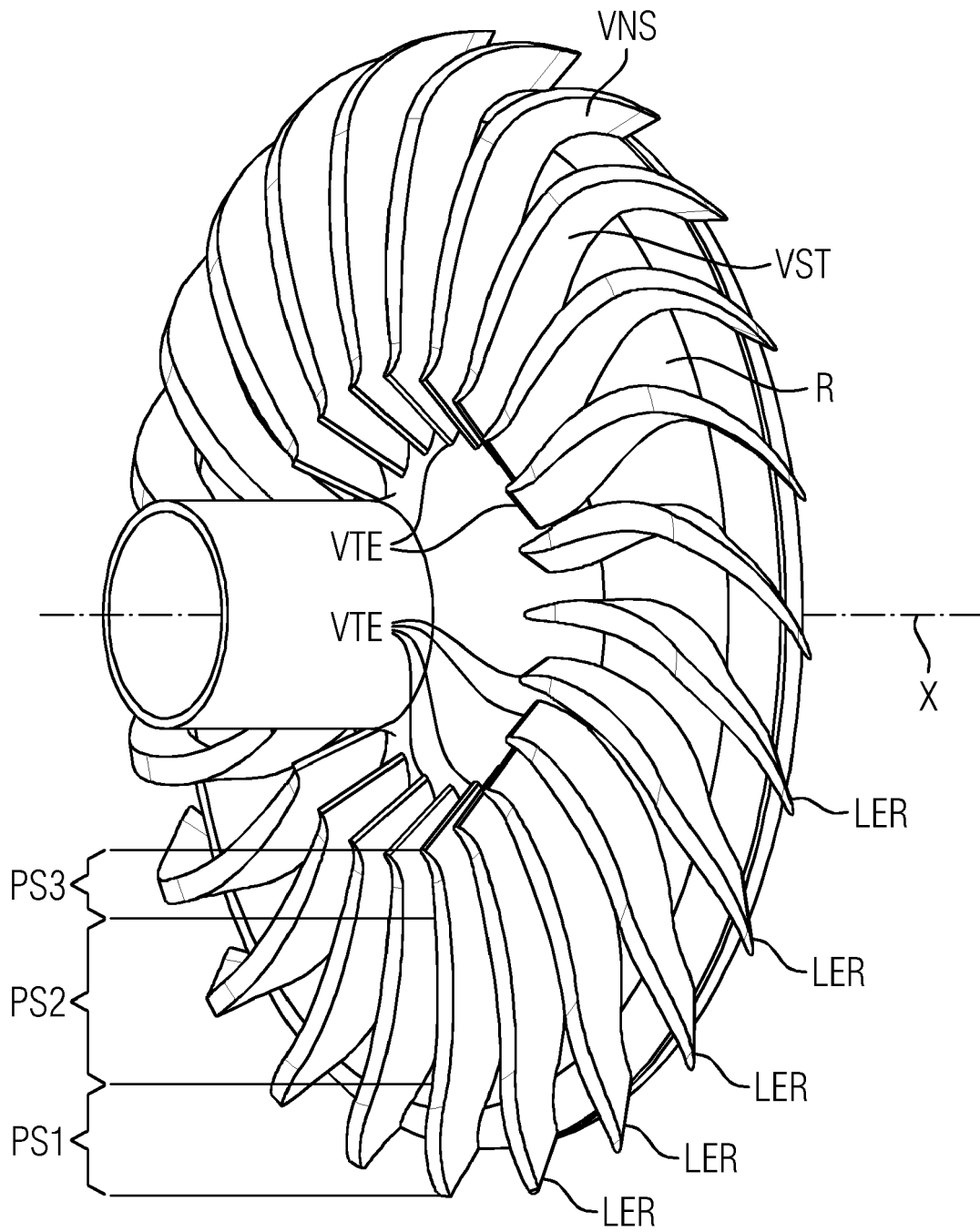
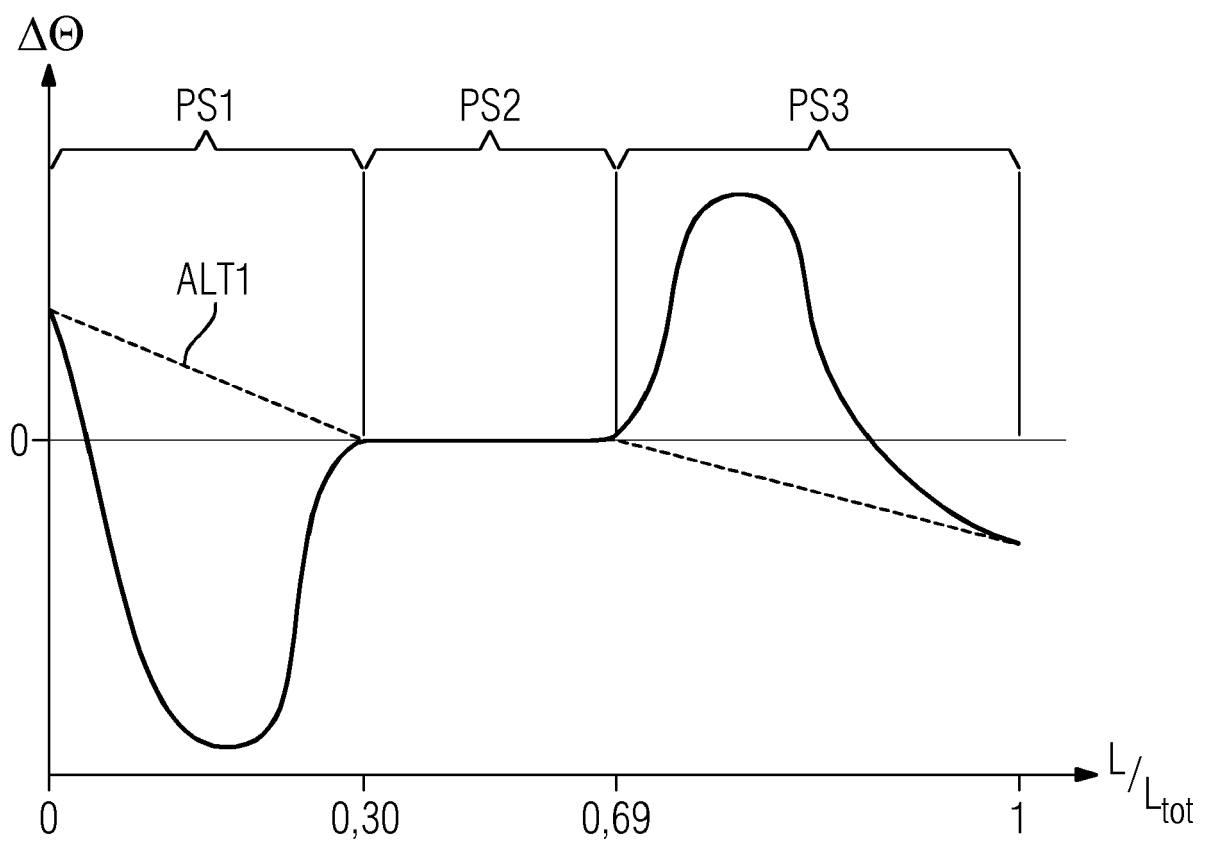


FIG 4





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 17 15 5607

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A,D	WO 2014/072288 A1 (NUOVO PIGNONE SRL [IT]) 15. Mai 2014 (2014-05-15) * Zusammenfassung; Abbildung 8 *	1-9	INV. F04D17/12 F04D29/44
A	JP 2012 102712 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 31. Mai 2012 (2012-05-31) * Zusammenfassung; Abbildungen 3,4 *	1-9	
A	JP S56 2499 A (HITACHI LTD) 12. Januar 1981 (1981-01-12) * Zusammenfassung; Abbildungen 8-10 *	1-9	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F04D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 1. August 2017	Prüfer Brouillet, Bernard
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 : mündliche 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 03.92 (P04C03)

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

EP 17 15 5607

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

01-08-2017

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	WO 2014072288	A1	15-05-2014	AU	2013343649 A1	14-05-2015
				CA	2890094 A1	15-05-2014
15				CN	104884810 A	02-09-2015
				EP	2917587 A1	16-09-2015
				JP	2015533403 A	24-11-2015
				KR	20150082562 A	15-07-2015
				US	2015300369 A1	22-10-2015
				WO	2014072288 A1	15-05-2014
20	-----					
	JP 2012102712	A	31-05-2012	KEINE		

	JP S562499	A	12-01-1981	KEINE		

25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

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 102014203251 A1 [0007]
- DE 3430307 A1 [0007]
- EP 592803 B1 [0007]
- US 20100272564 A1 [0007]
- WO 2014072288 A1 [0007] [0008]