



Europäisches
Patentamt
European
Patent Office
Office européen
des brevets



(11)

EP 3 551 889 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
19.08.2020 Patentblatt 2020/34

(21) Anmeldenummer: **18702076.3**

(22) Anmeldetag: **09.01.2018**

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

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2018/050397

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2018/145838 (16.08.2018 Gazette 2018/33)

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

RETURN CHANNEL OF A MULTISTAGE COMPRESSOR OR EXPANDER WITH TWISTED VANES
CANAL DE RETOUR DE COMPRESSEUR OU TURBODÉTENDEUR MULTICELLULAIRE AVEC
AUBES DIRECTRICES VRILLÉES

(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: **10.02.2017 EP 17155607**

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

(73) Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft
80333 München (DE)**

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

(56) Entgegenhaltungen:
**WO-A1-2014/072288 JP-A- S 562 499
JP-A- 2012 102 712**

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 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

5 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 10 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 15 dritten Abschnitts erstreckt und die Rückführstufe in Umfangsrichtung in Strömungskanäle segmentiert, wobei jeweils eine Profilmittellinie eines Profilquerschnitts 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 20 Radialturboverdichter im Wesentlichen eine umgekehrte Strömungsrichtung des Prozessfluids vorsieht.

[0003] Unter Entspannung und Umlenkung eines Prozessfluid 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 25 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 30 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. 35 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 40 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 45 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 50 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 55 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 Beschaufelung 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 Beschaufelung aufgrund der dreidimensionalen Ausbildung häufig nicht in der Lage ist, herkömmliche Befestigungselemente zwischen Schaufelboden und Zwischenboden durch die Leitschaufeln 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 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 aufeinander gestapelten Profile der Leitschaufeln 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 Leitschaufel definieren. Die Länge der Leitschaufel entlang dieser Koordinate ist zweckmäßig normiert auf eine Gesamtlänge 1.

[0014] 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.

[0015] 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.

[0016] 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.

[0017] Der Umfangspositionswinkel bestimmt die jeweilige Position in Umfangsrichtung der in Bezug genommenen Bauteile - hier im Wesentlichen Referenzpunkte oder Linien der Leitschaufeln, z.B. Punkte auf Profilmittelinien 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.

[0018] Die drei Profilabschnitte der Leitschaufeln der Leitschaufelstufe 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 Höhenerstreckung der Leitschaufeln, indem jeweils für Werte von L in den Profilabschnitten gilt:

5 in dem ersten Profilabschnitt (PS1):

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

10 in dem zweiten Profilabschnitt (PS2) : $OTR(L) = \theta_{ITR}(L)$ und

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

15 in dem dritten Profilabschnitt (PS3):

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

20 [0019] Besonders zweckmäßig ist eine weiterbildende Ausbildung, bei der in dem ersten Profilabschnitt gilt:

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

25 wobei in dem dritten Profilabschnitt (PS3) gilt:

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

30 [0020] Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass gilt:

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

35

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

[0021] Der mittlere, zweite Profilabschnitt erstreckt sich vorteilhaft von höchstens L=0,4 bis mindestens L=0,6.

40 [0022] Zur Befestigung des Zwischenboden 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 Befestigungselementes 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 Erstreckungssachse auf und kann insbesondere als Bohrung ausgeführt sein.

[0023] 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.

50 [0024] 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.

[0025] 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.

55 [0026] 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.

[0027] 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.

[0028] 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 Radalturbomaschine 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 Wiedergabe 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 Profillängenlaufkoordinate entlang der ersten Strömungsrichtung.

[0029] Figur 1 zeigt eine Rückführstufe RC einer Radalturbomaschine RTM, die als Radalturboverdichter CO ausgebildet ist.

[0030] Die hier beispielhaft für einen Radalturboverdichter CO erläuterten Bauteile sind bauidentisch erfindungsgemäß auch umsetzbar als Radalturboexpander, wobei ein Prozessfluid PF diese Bauteile in einem Radalturboverdichter CO in einer ersten Durchströmungsrichtung FD1 und in einem Radalturboexpander in einer entgegengesetzten zweiten Durchströmungsrichtung FD2 durchströmt. Die Schilderungen beziehen sich in diesem Dokument stets auf die erste Durchströmungsrichtung FD1, sofern nicht anders angegeben.

[0031] Figur 1 zeigt Teile zweier aufeinanderfolgend durchströmter Stufen, einer ersten Stufe ST1 und einer zweiten Stufe ST2 einer ausschnittsweise dargestellten Radalturbomaschine RTM bzw. Radalturboverdichters 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.

[0032] 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 entgegengesetzte ausgerichtete zweite Durchströmungsrichtung FD2 angegeben, wie diese vorläge bei einem Radalexander. 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.

[0033] 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.

[0034] 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.

[0035] 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.

[0036] 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 vorgese-

hen werden, so dass das Profil der Leitschaufeln VNS hinreichend stark ausgebildet sein muss.

[0037] Die Leitschaufeln sind entlang der ersten Durchströmungsrichtung FD1 in drei aufeinanderfolgende Profilabschnitte PS aufgeteilt:

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

10 **[0038]** 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 einzeichnet. 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 eingezeichnet. 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 .

15 **[0039]** Figur 3 zeigt dreidimensional Teile der Rückführstufe RTC, nämlich die Leitschaufelstufe VST mit den Leitschaufeln VNS und deren dreidimensionale Gestaltung.

20 **[0040]** 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 Umfangspositionswinkeldifferenz $\Delta\theta$ 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 Umfangspositionswinkeldifferenz (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 Umfangspositionswinkeldifferenz von 0 konstant.

Patentansprüche

- 35 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:

50

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

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

mit

5

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,
 $Fe(L)$: funktioneller Zusammenhang zwischen Umfangspositionswinkel θ und Position L auf der Profilmittellinie,
 R : Radius der Position von innerer Spur (ITR) bzw. äußerer Spur (OTR),

10

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

15

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):

85

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

in dem zweiten Profilabschnitt (PS2):

30

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

in dem dritten Profilabschnitt (PS3):

35

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

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

40

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

wobei in dem dritten Profilabschnitt (PS3) gilt:

45

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

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

50

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

$(\theta_{\text{OTR}}(L) - \theta_{\text{ITR}}(L))' = 0$ für genau ein $L \in \text{PS3}$.

55

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).
- 5
6. Rückführstufe (RTC) nach Anspruch 1, 2, 3, 4 oder 5, wobei die Leitschaufeln (VNS) jeweils mit einer Eintrittskante (LER) 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).
- 10
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 (SG4) zwischen 0°-60° eines zweiten Umlenkungswinkels (BA2).
- 15
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.
- 20
9. Radialturbomaschine (RTM) nach Anspruch 8, wobei die Laufräder (IP1, IP2) stromaufwärts der Rückführstufe (RTC) einen Austrittsdurchmesser (D2) aufweisen, wobei der Übergangsquerschnitt der Rückführstufe von dem ersten Abschnitt (SG1) zu dem zweiten Abschnitt (SG2) auf einem Zwischendurchmesser (DRR) angeordnet ist, wobei gilt:

25

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

mit:

30

D2: Austrittsdurchmesser Laufräder (IP1, IP2)
 DRR: Zwischendurchmesser Übergangsquerschnitt der Rückführstufe von dem ersten Abschnitt (SG1) zu dem zweiten Abschnitt (SG2).

35 **Claims**

1. Return stage (RTC) for throughflow by means of a process fluid along a throughflow direction of a radial turbomachine (RTM), in particular radial turbocompressor return stage (RCC), wherein the return stage (RTC) extends about an axis (X) in a ring-shaped manner,
- 40
- wherein the return stage (RTC) is defined radially inwardly by an inner delimiting contour (IDC) and radially outwardly by an outer delimiting contour (ODC),
- wherein the return stage (RTC) extends radially outwardly in a first section (SG1) along a first throughflow direction (FD1), wherein the return stage (RTC) extends, in a manner describing an arcuate deflection, radially inwardly from radially outside along the first throughflow direction (FD1) in a second section (SG2),
- 45
- wherein the return stage (RTC) extends radially inwardly from radially outside along the first throughflow direction (FD1) in a third section (SG3),
- wherein the return stage (RTC) extends, in a manner describing an arcuate deflection, axially from radially inside along the first throughflow direction (FD1) in a fourth section (SG4), wherein at least one guide vane stage (VST) comprising guide vanes (VNS) extends at least along a part of the third section (SG3) and, in the circumferential direction, segments the return stage into flow channels,
- 50
- wherein in each case a profile midline (PML) of a profile cross section (PRC) of the guide vanes (VNS) of the guide vane stage (VST) defines an inner track (ITR) on the side of the inner delimiting contour (IDC) and an outer track (OTR) on the side of the outer delimiting contour (ODC),
- wherein the progressions of the inner track (ITR) and outer track (OTR) are able to be defined as:

55

$$\Theta (L) = F_\theta (L)$$

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

with

wherein the guide vanes (VNS) have three successive profile sections (PS) along the first throughflow direction (FD1):

15 a first profile section (PS1),
a second profile section (PS2),
a third profile section (PS3),

characterized

20 in that, in each case for values of L in the profile sections, it holds that:

in the first profile section (PS1):

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

in the second profile section (PS2):

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

in the third profile section (PS3):

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

2. Return stage (RTC) according to Claim 1, wherein, in the first profile section (PS1), it holds that:

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

wherein, in the third profile section (PS3), it holds that:

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

3. Return stage (RTC) according to Claim 1 or 2, wherein it holds that:

$(\theta_{\text{OTR}}(L) - \theta_{\text{ITR}}(L))' = 0$ for exactly one $L \in \mathcal{PS}_1$,

$(\theta_{\text{OTB}}(L) - \theta_{\text{ITB}}(L))' = 0$ for exactly one $L \in \mathbb{P}S3$.

55 4. Return stage (RTC) according to Claim 1, 2 or 3,
wherein the return stage (RTC) is at least 100 ms and 1000 ms.

5. Return stage (RTC) according to Claim 1, 2, 3 or 4, wherein at least some of the guide vanes (VNS) have a cutout in the second profile section (PS2), extending from a point of the inner track to a point of the outer track, for the leadthrough of a fastening element between the inner delimiting contour (IDC) and the outer delimiting contour (ODC).

5 6. Return stage (RTC) according to Claim 1, 2, 3, 4 or 5, wherein the guide vanes (VNS) are in each case arranged with an inlet edge (LER) in each case in the second section (SG2), preferably in a region of the arcuate deflection of the second section (SG2) between 0° and 90° of a first deflection angle (BA1).

10 7. Return stage (RTC) according to Claim 1, 2, 3, 4, 5 or 6, wherein the guide vanes (VNS) are in each case arranged with an outlet edge (VTE) in each case in the fourth section (SG4), preferably in a region of the arcuate deflection of the fourth section (SG4) between 0° and 60° of a second deflection angle (BA2).

15 8. Radial turbomachine (RTM), in particular radial turbocompressor, having at least one return stage (RTC) according to Claim 1, 2, 3, 4, 5, 6 or 7, wherein the radial turbomachine (RTM) has a rotor (ROT) which is mounted in a manner rotatable about the axis (X) and which comprises at least two impellers (IP1, IP2), wherein the return stage (RTC) guides the flow from one impeller (IP1, IP2) to a downstream impeller (IP1, IP2) along the first throughflow direction (FD1).

20 9. Radial turbomachine (RTM) according to Claim 8, wherein the impellers (IP1, IP2) have an outlet diameter (D2) upstream of the return stage (RTC), wherein the transition cross section of the return stage from the first section (SG1) to the second section (SG2) is arranged at an intermediate diameter (DRR), wherein it holds that:

DRR/D2 < 1.5, in particular DRR/D2 < 1.4,

with:

25 D2: outlet diameter of impellers (IP1, IP2)

DRR: intermediate diameter of transition cross section of the return stage from the first section (SG1) to the second section (SG2).

30

Revendications

1. Passage (RTC) de retour pour la traversée au moyen d'un fluide de processus suivant une direction de traversée d'une turbomachine (RTM) radiale, notamment passage (RCC) de retour d'un turbocompresseur radial,

35 dans lequel le passage (RTC) de retour s'étend annuilairement autour d'un axe (X), dans lequel le passage (RTC) 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,

40 dans lequel, suivant une première direction (FD1) de traversée, le passage (RTC) de retour s'étend vers l'extérieur radialement suivant un premier tronçon (SG1), dans lequel le passage (RTC) de retour s'étend de l'extérieur radialement vers l'intérieur radialement dans un deuxième tronçon (SG2) suivant la première direction (FD1) de traversée en décrivant une déviation en forme d'arc,

45 dans lequel le passage (RTC) de retour s'étend de l'extérieur radialement vers l'intérieur radialement suivant la première direction (FD1) de traversée dans un troisième tronçon (SG3),

dans lequel le passage (RTC) de retour s'étend de l'intérieur radialement vers l'axe suivant la première direction (FD1) de traversée dans un quatrième tronçon (SG4), en décrivant une déviation en forme d'arc, dans lequel au moins un étage (VST) d'aubes directrices, comprenant des aubes (VNS) directrices, s'étend au moins suivant une partie du troisième tronçon (SG3) et segmente le passage de retour dans la direction périphérique en des canaux d'écoulement,

50 - dans lequel, respectivement, une ligne (PML) médiane de profil d'une section (PRC) transversale de profil des aubes (VNS) directrices de l'étage (VST) d'aubes directrices définit, du côté du contour (IDC) limite intérieur, une piste (ITR) intérieure et, du côté du contour (ODC) limite extérieur, une piste (OTR) extérieure, - dans lequel les tracés de la piste (ITR) intérieure et de la piste (OTR) extérieure peuvent être définis par :

55

$$\Theta(\underline{L}) = F_\Theta(\underline{L})$$

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

5 dans lesquelles

θ : angle de position périphérique dans le sens de rotation de la turbomachine (RTM) radiale à sommet sur l'axe (X),

10 L : coordonnée courante de ligne médiane de profil suivant la première direction (FD1) de traversée suivant une hauteur médiane de l'aube (VNS) directrice respective normée sur une longueur totale 1,

$F_e(L)$: dépendance fonctionnelle entre l'angle θ de position périphérique et la position L sur la ligne médiane de profil,

15 R : rayon de la position de la piste (ITR) intérieure ou de la piste (OTR) extérieure,

20 dans lequel les aubes (VNS) directrices ont, suivant la première direction (FD1) de traversée, trois tronçons de profil successifs :

25 un premier tronçon (PS1) de profil,

un deuxième tronçon (PS2) de profil,

20 un troisième tronçon (PS3) de profil,

caractérisé

en ce que, respectivement, pour des valeurs de L dans les tronçons de profil, on a :

25 dans le premier tronçon (PS1) de profil :

$$\Theta_{OTR}(L) \neq \Theta_{ITR}(L) \text{ et } (\Theta_{OTR}(L) - \Theta_{ITR}(L))' \neq 0,$$

30 dans le deuxième tronçon (PS2) de profil :

$$\Theta_{OTR}(L) = \Theta_{ITR}(L) \text{ et } (\Theta_{OTR}(L) - \Theta_{ITR}(L))' = 0,$$

35 dans le troisième tronçon (PS3) de profil :

$$\Theta_{OTR}(L) \neq \Theta_{ITR}(L) \text{ et } (\Theta_{OTR}(L) - \Theta_{ITR}(L))' \neq 0.$$

40 2. Passage (RTC) de retour suivant la revendication 1, dans lequel, dans le premier (PS1) de profil, on a :

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

45 dans lequel, dans le troisième tronçon (PS3) de profil, on a :

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

50 3. Passage (RTC) de retour suivant la revendication 1 ou 2, dans lequel on a :

$$(\Theta_{OTR}(L) - \Theta_{ITR}(L))' = 0 \text{ pour exactement un } L \in PS1$$

$$55 (\Theta_{OTR}(L) - \Theta_{ITR}(L))' = 0 \text{ pour exactement un } L \in PS3.$$

4. Passage (RTC) de retour suivant la revendication 1, 2 ou 3,

dans lequel le deuxième tronçon (PS2) de profil s'étend d'au plus L=0,4 à au moins L=0,6.

5. Passage (RTC) de retour suivant la revendication 1, 2, 3 ou 4,
dans lequel au moins certaines des aubes (VNS) directrices dans le deuxième tronçon (PS2) de profil ont, pour
le passage d'un élément de fixation entre le contour (IDC) limite intérieur et le contour (ODC) limite extérieur, un
évidemment s'étendant d'un point de la piste intérieure à un point de la piste extérieure.

6. Passage (RTC) de retour suivant la revendication 1, 2, 3, 4 ou 5,
dans lequel les aubes (VNS) directrices sont disposées chacune en ayant un bord (LER) d'entrée, respectivement
10 dans le deuxième tronçon (SG2), de préférence dans une région de la déviation en forme d'arc du deuxième
tronçon (SG2) entre 0° -90° d'un premier angle (BA1) de déviation.

15 7. Passage (RTC) de retour suivant la revendication 1, 2, 3, 4, 5 ou 6,
dans lequel les aubes (VNS) directrices sont disposées chacune en ayant un bord (VTE) de sortie, respectivement
dans le quatrième tronçon (SG4), de préférence dans une région de la déviation en forme d'arc du quatrième
tronçon (SG4) entre 0° -60° d'un deuxième angle (BA2) de déviation.

20 8. Turbomachine (RTM) radiale, notamment turbocompresseur radial, comprenant au moins un passage (RTC) de
retour suivant la revendication 1, 2, 3, 4, 5, 6 ou 7, dans laquelle la turbomachine (RTM) radiale a un rotor (ROT)
monté tournant autour de l'axe (X) et comprenant au moins deux roues (IP1, IP2), le passage (RTC) de retour
conduisant le courant suivant la première direction (FD1) de passage d'une roue (IP1, IP2) à une roue (IP1, IP2)
en aval.

25 9. Turbomachine (RTM) radiale suivant la revendication 8, dans laquelle les roues (IP1, IP2) ont, en amont du
passage (RTC) de retour, un diamètre (D2) de sortie, la section transversale de transition du passage de retour
du premier tronçon (SG1) au deuxième tronçon (SG2) étant disposée sur un diamètre (DRR) intermédiaire,
dans lequel on a :
30 DRR/D2 < 1,5, notamment DRR/D2 < 1,4
en ayant :

D2 : diamètre extérieur des roues (IP1, IP2)

DRR : diamètre intermédiaire de la section transversale de transition du passage de retour du premier tronçon
(SG1) au deuxième tronçon (SG2).

35

40

45

50

55

FIG 1

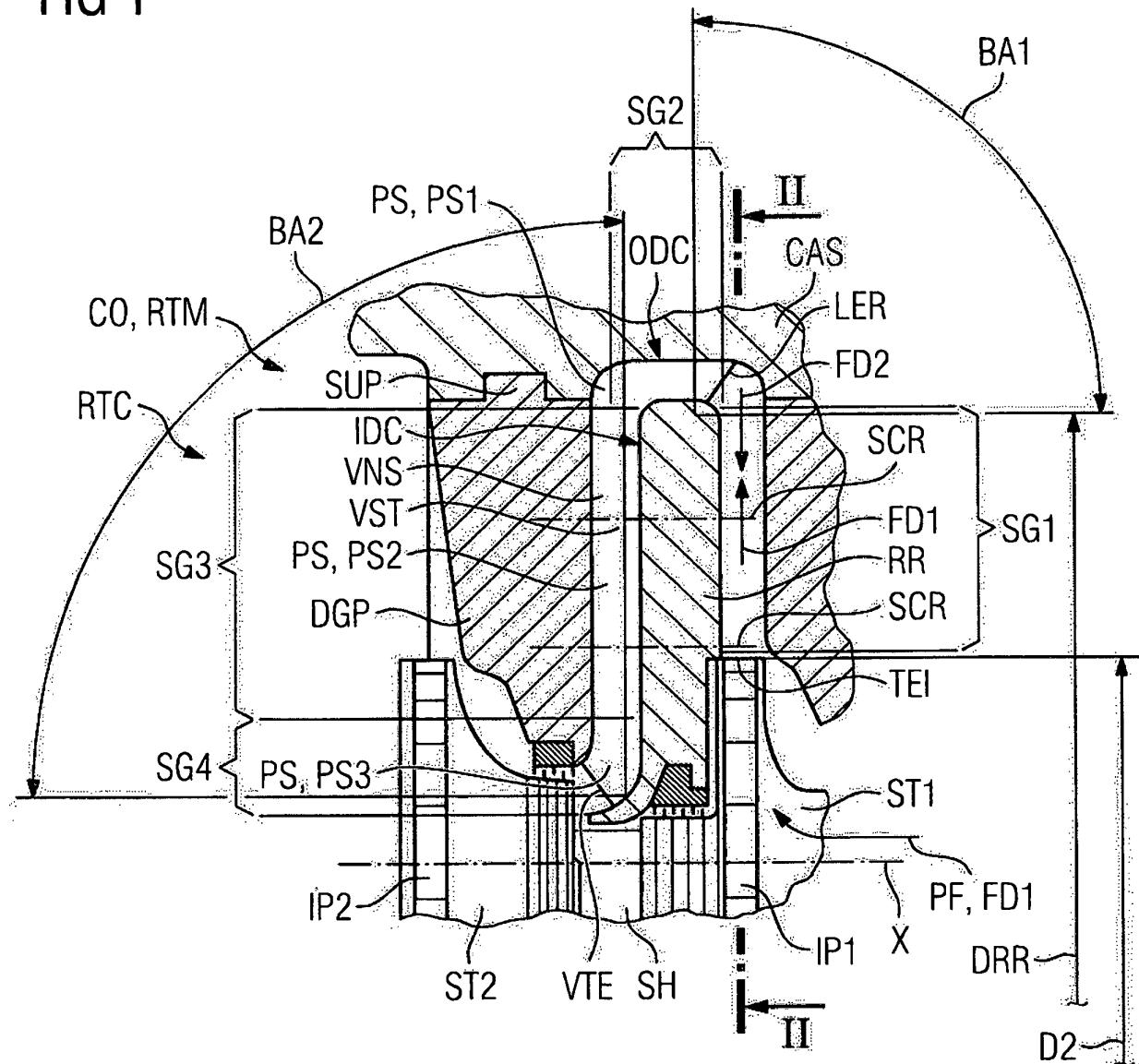


FIG 2

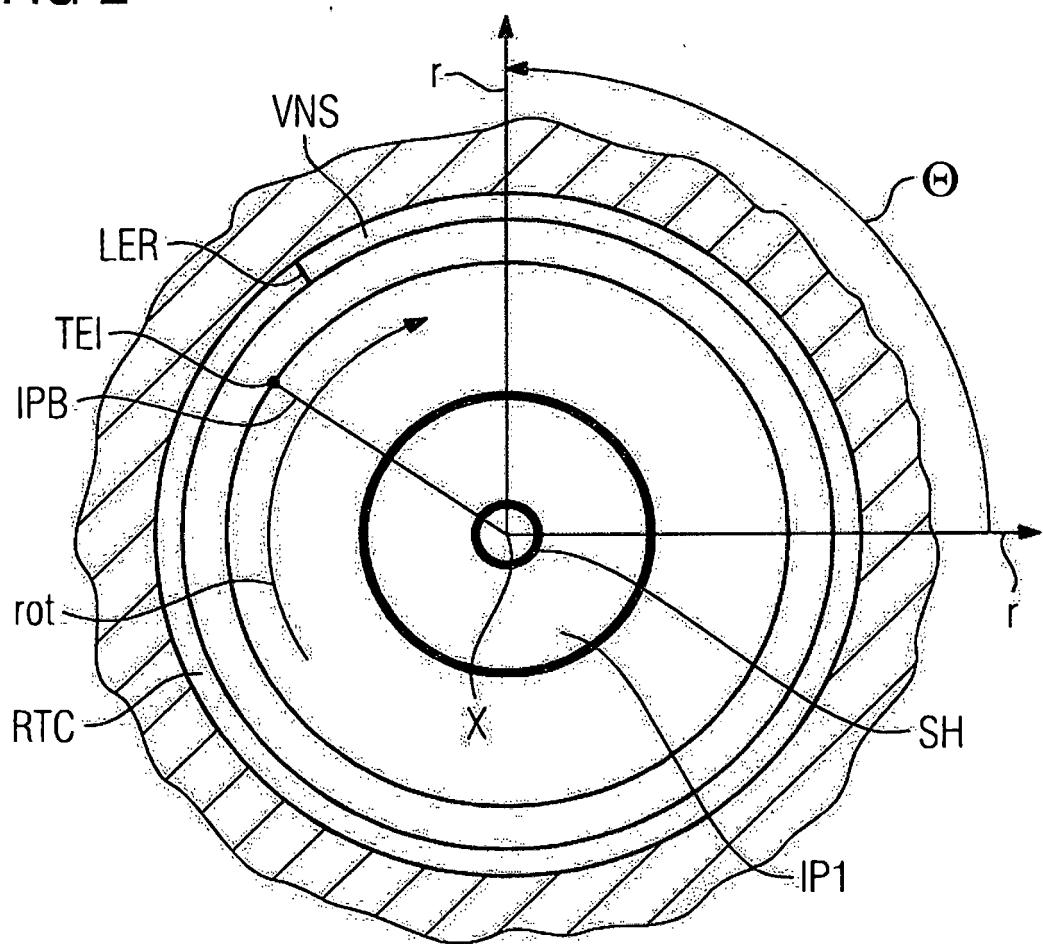


FIG 3

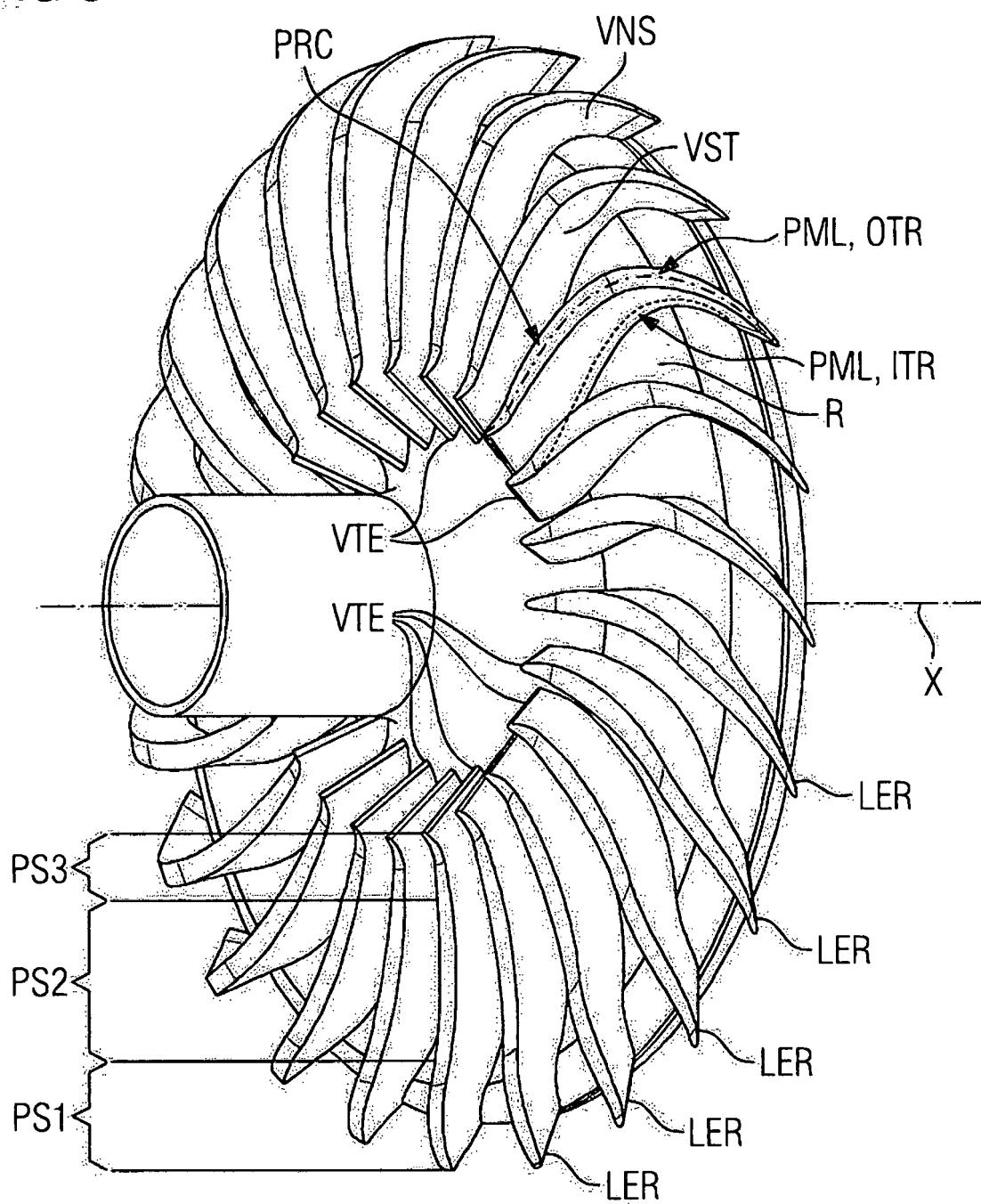
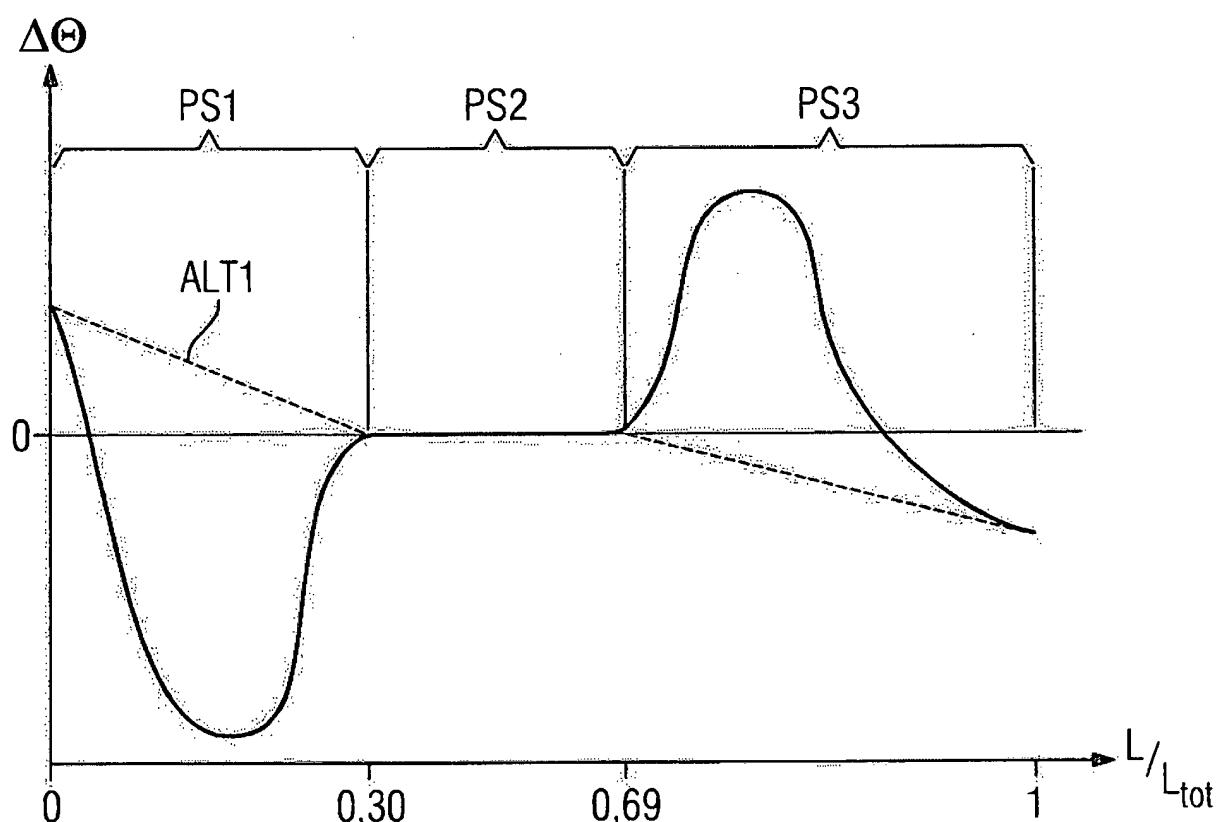


FIG 4



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