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

(11) **EP 3 760 876 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
06.01.2021 Patentblatt 2021/01

(51) Int Cl.:
F04D 29/44 *(2006.01)* *F01D 9/04* *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **19184292.1**

(22) Anmeldetag: **04.07.2019**

(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:
KH MA MD TN

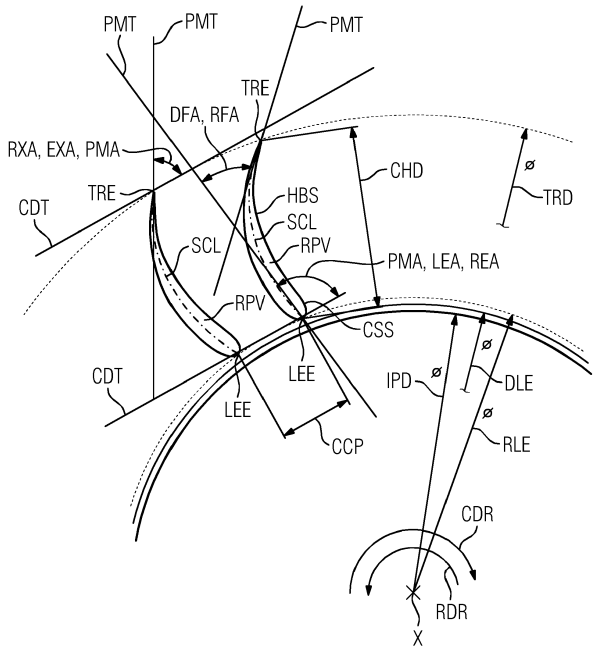
(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder: **Petry, Nico**
46147 Oberhausen (DE)

(54) **DIFFUSOR FÜR EINE STRÖMUNGSMASCHINE**

(57) Die Erfindung betrifft eine Anordnung (ARA) mit einem Diffusor (DFF) für eine Strömungsmaschine (CMP) mit einem Laufrad (IMP) stromaufwärts des Diffusors (DFF), wobei der Diffusor (DFF) und das Laufrad (IMP) sich ringförmig um eine Achse (X) entlang einer Umfangsrichtung (CDR) erstrecken, wobei sich die Rippenleitschaufeln (RPV) ausgehend von der Gehäuseseite (CSS) entlang 25%-50% der Diffusorkanalbreite (ADW) in Richtung der Nabenseite (HBS) erstrecken und Eintrittskanten (LEE) aufweisen, die an einem mittleren Rippeneintrittskantendurchmesser (RLE) angeordnet sind, wobei das Laufrad (IMP) Laufradschaufeln (BLD) aufweist, wobei die Laufradschaufeln (BLD) Rotoraustrittskanten (TRE) aufweisen, wobei die Rotoraustrittskanten (TRE) im Mittel über die jeweilige Schaufelhöhe (AFH) an einem mittleren Rotoraustrittskantendurchmesser (TRI) angeordnet sind. Zur Verbesserung der aerodynamischen Wirkung des Diffusors wird vorgeschlagen, dass für das Verhältnis (RDT) eines Rippeneintrittskantendurchmessers zu einem mittleren Rotoraustrittskantendurchmesser gilt: $1.04 < RLE/TRI < 1.1$. So kann gleichzeitig der notwendige Bauraum reduziert werden.

FIG 3



EP 3 760 876 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Anordnung mit einem Diffusor für eine Strömungsmaschine mit einem Laufrad stromaufwärts des Diffusors, wobei der Diffusor und das Laufrad sich ringförmig um eine Achse entlang einer Umfangsrichtung erstrecken, wobei sich die Rippenleitschaufeln entlang der Schaufelhöhe zwischen zwei Diffusorbegrenzungswänden ausgehend von einer Diffusorbegrenzungswand an einer Gehäuseseite in Richtung einer Diffusorbegrenzungswand an einer Nabenseite erstrecken, wobei die Rippenleitschaufeln ausgehend von der Gehäuseseite entlang 25%-50% der Diffusorkanalbreite in Richtung der Nabenseite erstrecken, wobei die Rippenleitschaufeln Eintrittskanten aufweisen, die an einem mittleren Rippeneintrittskantendurchmesser angeordnet sind, wobei das Laufrad Laufradschaufeln aufweist, wobei die Laufradschaufeln Rotoraustrittskanten aufweisen, wobei die Rotoraustrittskanten im Mittel über die jeweilige Schaufelhöhe an einem mittleren Rotoraustrittskantendurchmesser angeordnet sind. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Strömungsmaschine mit einer solchen Anordnung.

[0002] Bei Radialverdichtern verlässt das Fluid das Laufrad nach radial außen und gelangt von dort in den Diffusor, welcher typischerweise ebenfalls radial von innen nach außen durchströmt wird. Diffusoren können beschaufelt oder unbeschaufelt ausgeführt sein. Bei den beschaufelten Arten wird zwischen Low-Solidity-Diffusoren [LSD] mit geringer Schaufelüberdeckung (mit Leitschaufeln, die einen verhältnismäßig großen Abstand zueinander in Umfangsrichtung im Verhältnis zu deren Radialerstreckung aufweisen) und Kanaldiffusoren - auch als aerodynamische Diffusoren [AE-Diffusor] bezeichnet - unterschieden. Aufgrund der Nachteile bzgl. des Fahrbereichs werden AE-Diffusoren sehr selten eingesetzt. LSDs bieten dagegen einen deutlich besseren also umfangreicheren Fahrbereich als AE-Diffusoren. Heutzutage sind nahezu alle beschaufelten Diffusoren LSDs.

[0003] LSDs werden aus den folgenden Gründen eingesetzt:

- Unterdrücken von Rotating Stall, welcher im Falle eines unbeschaufelten Ringraums ggf. auftreten könnte
- Steigerung des Wirkungsgrades der Stufe durch Aufrichten der Strömung und durch Vergleichmäßigung der Strömung über der Kanalhöhe. Dies führt zu einer Reduktion von Verlusten in den nachgeschalteten Komponenten wie Rückführstufe oder Spirale.
- Besserer Kennlinienanstieg zur Pumpgrenze.

[0004] Nachteile von LSDs sind:

- Reduzierter Fahrbereich (schmalere Kennlinie) im Vergleich zur unbeschaufelten Variante
- Höherer Lärmpegel
- Höhere Laufradanregung
- Notwendige radiale Erstreckung des Diffusors größer als für den unbeschaufelten Diffusor
- Notwendige Sammelspiralgehäusegröße nimmt mit LSD zu, da die Umfangskomponente der Geschwindigkeit (Transportgröße in der Spirale) durch den LSD reduziert wird.

[0005] Diffusoren für Radialmaschinen sind bereits aus der EP 2 650 546 A1 bekannt. Dort wird vorgeschlagen, die Leitschaufeln des Diffusors in geneigter Form in einem hinter dem Laufrad angeordneten stehenden Diffusor anzuordnen (dihedral vanes). Insbesondere beim LSD soll mittels dieser aerodynamischen Maßnahme ein verringerter Druckverlust erzielt werden.

[0006] Aus den WO2019057412A1, WO2019057413A1, WO2019057414A1 sind bereits Anordnungen aus Laufrädern und Diffusoren von insbesondere Turboverdichtern bekannt.

[0007] Aus der US4850795A und der EP446900B1 sind bereits Anordnungen mit Rippenleitschaufeln bekannt.

[0008] Ausgehend insbesondere von den beschriebenen Nachteilen hat es sich die Erfindung vorrangig zur Aufgabe gemacht, radialen Bauraumbedarf eines LSD's zu verringern, so dass der ansonsten vergrößerte radiale Bauraumbedarf gegenüber einem unbeschaufelten Diffusor nicht mehr so stark ins Gewicht fällt.

[0009] Zur Lösung des Problems wird ein Diffusor bzw. eine Anordnung und eine Strömungsmaschine mit einem solchen Diffusor mit den eingangs definierten Merkmalen vorgeschlagen, der die zusätzlichen Merkmale des Kennzeichens des Anspruchs 1 aufweist. Die rückbezogenen Unteransprüchen beinhalten vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

[0010] Begriffe, wie radial, axial, tangential oder Umfangsrichtung beziehen sich auf die eingangs definierte Achse, um die sich der Diffusor ringförmig erstreckt. Diese Achse ist im Falle eines Turboverdichters bzw. eines Radialturboverdichters koaxial zu der Drehachse des Rotors.

[0011] Sämtliche Winkelangaben beziehen sich hierbei stets auf die gegenständlichen Winkel an den tatsächlichen geometrischen Formen - kurz: Metallwinkel.

[0012] Der Begriff Umfangstangente (vorliegend auch mit dem Bezugszeichen CDT bezeichnet) bedeutet vorliegend immer eine Tangente, die eine Kreislinie um die zentrale Achse berührt, wobei sich der Kreisradius und der Berührpunkt

jeweils eindeutig für den Fachmann aus dem Zusammenhang ergeben.

[0013] Unter einer Profilmittellinie versteht die Erfindung eine gedachte Linie, die sich durch die Mitte eines Schaufelprofiles erstreckt. Hierbei wird das Schaufelprofil als eine zweidimensionale Form aufgefasst. Die Profilmittellinie kann in dieser zweidimensionalen Form konstruiert werden, indem beispielsweise die Mittelpunkte aller eingeschriebenen Kreise mittels einer Linie - der Profilmittellinie - verbunden werden.

[0014] Der Diffusor wird axial von Diffusorbegrenzungswänden definiert. Hierbei ist der Begriff "Diffusorbegrenzungswände" nicht derart zu verstehen, dass die Diffusorbegrenzungswände immer eine axiale Flächennormale aufweisen. Vielmehr soll dieser Begriff bedeuten, dass die Diffusorbegrenzungswände jedenfalls eine Radialerstreckung aufweisen und - auch wenn sie einen gegenüber der Radialen oder Axialen schrägem Verlauf aufweisen - den Diffusor in Axialrichtung begrenzen. Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass sich in radialer Richtung der Axialabstand zwischen Diffusorbegrenzungswänden aufweitet.

[0015] Der Begriff Strömungsmaschine bezieht sich nach der Erfindung auf radiale Turbomaschinen, die eine Umlenkung des Prozessfluids vorsehen. Von vorrangiger Bedeutung ist hierbei die Anwendung für einen Radialturboverdichter. Insbesondere im Falle des Radialturboverdichters ist der Diffusor ein strömungsleitendes Bauteil des Stators, das sich stromabwärts des Laufradaustritts befindet. In dem Diffusor wird in der Regel die Strömungsgeschwindigkeit des Prozessfluids verzögert, so dass sich gemäß der Gesetzmäßigkeiten von Bernoulli ein Druckaufbau ergibt.

[0016] Im Falle des Radialturboverdichters und eines sich im Wesentlichen radial nach außen erstreckenden Diffusors ergibt sich die Diffusor-Wirkung schon allein durch die radiale Zunahme der durchströmten Querschnittsfläche. Zusätzlich von Bedeutung ist eine Veränderung der Diffusorkanalbreite, die sich im Regelfall als die axiale Erstreckung der lichten Weite des Diffusors ergibt. Grundsätzlich kann sich der Diffusor auch abweichend von der Radialrichtung erstrecken. Die meisten Diffusoren erstrecken sich aber weitestgehend radial. Die Diffusorkanalbreite wird begrenzt durch an beiden Seiten vorgesehenen Diffusorbegrenzungswänden. Im Falle eines sich rein radial erstreckenden Diffusors ohne axiale Aufweitung laufen die Diffusorbegrenzungswände ebenfalls rein radial. Aufgrund der axialen Ansaugung eines Radialturboverdichters und der radialen Ausgabe des Prozessfluids aus dem Laufrad findet in dem Laufrad eine Umlenkung von axial nach radial statt. Das Laufrad ist hierbei in der Regel mit einer Radscheibe aufgebaut, die mit einer Welle-Nabe-Verbindung das Laufrad mit der Welle verbindet. Diejenige Seite, die nicht die axiale Ansaugung des Laufrades aufweist, wird hierbei als die Nabenseite bezeichnet. Die andere gegenüberliegende Axialseite wird als Gehäuseseite bezeichnet. Bei Laufrädern, die gehäuseseitig eine Deckscheibe aufweisen, wird diese Gehäuseseite auch häufig als die Deckscheibenseite bezeichnet. Unter einer Schaufelhöhe versteht die Erfindung die Erstreckung der Schaufel senkrecht zur Hauptströmungsrichtung. Folgt man einem - für die Hauptströmungsrichtung - repräsentativen Strömungsfaden durch die Anordnung der Erfindung, beispielsweise durch den Diffusor, so erstreckt sich dieser Strömungsfaden im Wesentlichen senkrecht zur Richtung der Schaufelhöhe. Erstreckt sich dieser Strömungsfaden in etwa mittig durch die Anordnung wird er in etwa bei 50% der Schaufelhöhe liegen.

[0017] Das erfindungsgemäße Merkmal, dass für das Verhältnis RDT eines Rippeneintrittskantendurchmessers zu einem mittleren Rotoraustrittskantendurchmesser gilt:
1,04 < Verhältnis RDT < 1,1 führt zu einer besonders effektiven und raumsparenden Berücksichtigung des Unterschiedes zwischen der Gehäuseseite und der Nabenseite.

[0018] Für die Rippenleitschaufeln ist ein Rippeneintrittswinkel REA definiert zu dem Eintrittskantenwinkel der Diffusorleitschaufeln und beträgt bevorzugt zwischen 14° und 22°. Diese Geometrie berücksichtigt effektiv die Besonderheiten der Rippenleitschaufeln und der Strömungstechnik stromabwärts des Laufrades.

[0019] Bei einer analogen Definition des Rippenaustrittswinkels zu sieht eine weitere vorteilhafte Weiterbildung vor, dass gemittelt über die Schaufelhöhe die Rippenanstellwinkeldifferenz zwischen Rippeneintrittswinkel und Rippenaustrittswinkel zwischen 4° und +11°, bevorzugt zwischen 6° bis 10° als Metallwinkel ausgelegt ist.

[0020] Hierbei weisen die Rippenleitschaufeln für jede Position der Schaufelhöhe eine Schaufelüberdeckung auf, die definiert ist als das Verhältnis einer Profilsehnenlänge der jeweiligen Rippenleitschaufel zur Umfangsteilung der Anordnung der Rippenleitschaufeln. Unter der Profilsehne versteht die Erfindung die gedachte Verbindungslinie zwischen der Eintrittskante des Profils und der Austrittskante bzw. Hinterkante. Unter der Umfangsteilung - auch häufig einfach als Teilung bezeichnet - versteht man den Abstand in Umfangsrichtung zwischen den Vorderkanten der Rippenleitschaufeln. Eine diesbezügliche vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die mittlere Schaufelüberdeckung (SLD) der Rippenleitschaufeln zwischen 0,6 < SLD < 0,9, bevorzugt zwischen 0,65 < SLD < 0,75 beträgt.

[0021] Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Laufrad am Austritt eine axiale Laufradaustrittsbreite aufweist, wobei der Diffusor am Eintritt eine axiale Diffusorkanaleintrittsbreite aufweist, wobei ein Ringraumbreitenverhältnis definiert ist als axiale Diffusorkanaleintrittsbreite zu axialer Laufradaustrittsbreite wobei das Ringraumbreitenverhältnis ACW bevorzugt 0,8 < ACW <1 beträgt, besonders bevorzugt zwischen 0,85 < ACW <0,98 beträgt. Dieses Verhältnis führt zu überraschend guten aerodynamischen Ergebnissen bei verringertem Radialraumbedarf.

[0022] Eine andere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass der Diffusor stromabwärts der Rippenleitschaufeln Diffusorleitschaufeln aufweist, die sich ausgehend von der Gehäuseseite entlang der Diffusorkanalbreite bis zu der Nabenseite erstrecken. Die Diffusorleitschaufeln sind hierbei zu mindestens 70% ihrer Profilsehnenlängen strom-

abwärts der Rippenleitschaufeln angeordnet.

[0023] Die Rippenleitschaufeln tragen dem Umstand zusätzlich Rechnung, dass das aus dem Laufrad austretende Prozessfluid auf der Gehäuseseite eine andere Strömungsverteilung und Geschwindigkeitsverteilung hat als auf der Nabenseite. Zum Ausgleich dieser Differenz sind die Rippenleitschaufeln vor den eigentlichen Diffusorleitschaufeln vorgesehen, so dass diese Unterschiede besser ausgeglichen werden und hinter dem Austritt des Diffusors eine möglichst homogene Abströmung erfolgt.

[0024] Weiterhin schlägt die Erfindung als vorteilhafte Weiterbildung vor, dass die Rippenleitschaufeln und/oder die Diffusorleitschaufeln ein gewölbtes und profiliertes Profil aufweisen. Profiliert bedeutet hierbei, dass das Schaufelprofil keine konstante Dicke über die Erstreckung in Hauptströmungsrichtung aufweist, sondern aerodynamisch hinsichtlich der Profildickenverteilung angepasst ist.

[0025] In der Regel ist die Schaufel bzw. das Schaufelprofil auf der Druckseite über einen weiteren Erstreckungsbereich konkaver gestaltet als auf der Saugseite - dementsprechend ist das Schaufelprofil auf der Saugseite über einen weiteren Erstreckungsbereich konvex gestaltet.

[0026] Eine andere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass für jede Position entlang der Profilmittellinie des Schaufelprofils der Diffusorleitschaufeln ein Anstellwinkel definiert ist als der mathematisch positive Winkel von der Umfangstangente auf die Tangente an der Profilmittellinie. Hierbei ist jeweils ein Eintrittskantenwinkel ein Anstellwinkel an der Eintrittskante und ein Austrittskantenwinkel ein Anstellwinkel an der Austrittskante der Diffusorleitschaufel.

[0027] Bevorzugt beträgt der wobei der Eintrittskantenwinkel zwischen $23° < LEA < 30°$..

[0028] Für die Differenz zwischen Eintrittskantenwinkel und Austrittskantenwinkel gemittelt über die Schaufelhöhe gilt bevorzugt: -4 > Eintrittskantenwinkel - Austrittskantenwinkel > 10°.

[0029] Eine negative Differenz zwischen dem Eintrittskantenwinkel und dem Austrittswinkel bzw. dem Rippeneintrittswinkel und dem Rippenaustrittswinkel (Rippenanstellwinkeldifferenz RFA) zeigt an, dass die Schaufel tangentialer ausläuft als der Eintritt gestaltet ist. Ein Strömungsfluid, dass einer derartigen Schaufelgestaltung zumindest weitestgehend oder vollkommen folgen würde, hat bei einer derartigen negativen Differenz eine tangentialere Strömungsausrichtung nach Durchströmung einer derartigen Schaufelanordnung.

[0030] Eine vorteilhafte Weiterbildung sieht vor, dass das Verhältnis der Anzahl der Rippenleitschaufeln zu der Anzahl der Diffusorleitschaufeln 0,5, 1 oder 2 ist. Hierbei ist es zweckmäßig, wenn die Anordnung 8-24 Diffusorleitschaufeln aufweist.

[0031] Eine andere vorteilhafte Weiterbildung sieht vor, dass im Bereich von Eintrittskanten der Diffusorleitschaufeln der Diffusor eine axiale Diffusorleitschaufeleintrittsbreite aufweist, wobei im Bereich von Austrittskanten der Diffusorleitschaufeln der Diffusor eine axiale Diffusorleitschaufelaustrittsbreite aufweist, wobei ein Leitschaufelringraumbreitenverhältnis AVW definiert ist als axiale Diffusorleitschaufelaustrittsbreite zur axialen Diffusorleitschaufeleintrittsbreite

$$1,0 < AVW < 1,4.$$

[0032] Eine vorteilhafte Weiterbildung dieses Merkmals sieht vor, dass die Diffusorbegrenzungswand auf der Nabenseite sich weniger schräg zur Radialrichtung erstreckt als die Diffusorbegrenzungswand auf der Gehäuseseite, derart, dass mindestens 80% der axialen Aufweitung sich aus der Schrägstellung der Diffusorbegrenzungswand auf der Gehäuseseite ergibt.

[0033] Weiterhin betrifft die Erfindung eine Strömungsmaschine mit einer Anordnung der vorab definierten Art.

[0034] Im Folgenden ist die Erfindung anhand verschiedener Figuren zum besseren Verständnis unter Darstellung bevorzugter Ausführungsbeispiele illustriert. Es zeigen:

Figur 1 einen schematischen Längsschnitt entlang einer Drehachse durch eine erfindungsgemäße Strömungsmaschine mit einem erfindungsgemäßen Diffusor bzw. einer erfindungsgemäßen Anordnung,

Figur 2 einen Schnitt II-II entlang einer Hauptströmungsrichtung gemäß Figur 1,

Figur 3 das Detail III aus Figur 2,

Figur 4 eine schematische Darstellung eines Längsschnitts durch eine Strömungsmaschine beschränkt auf das Detail des Diffusors,

Figur 5 den Schnitt V-V aus Figur 4,

Figur 6 eine schematische Darstellung eines Längsschnitts durch einen Diffusor mit aufgeweiteter Diffusorkanalbreite

mit Rippenleitschaufeln.

[0035] In den Figuren bedeuten gleiche Bezugszeichen funktionsgleiche Bauteile.

[0036] Figur 1 zeigt eine Strömungsmaschine CMP mit einer Anordnung ARA mit einem Diffusor DFF und einem stromaufwärts des Diffusors DFF angeordneten Laufrad IMP. Das Laufrad IMP und der Diffusors DFF erstrecken sich ringförmig entlang einer Umfangsrichtung CDR einer Achse X mit einer Drehachse ROT. Das Laufrad IMP ist einer bestimmten Axialposition an einer um die Drehachse ROT bzw. die koaxial zur Drehachse ROT angeordnete Achse X drehbar gelagerte Welle SHT befestigt. Das Laufrad IMP weist eine Radscheibe HUB, Laufradschaufeln BLD und eine Deckscheibe SHR auf, wobei die Laufradschaufeln BLD Strömungskanäle ausbildend sich befestigt zwischen der Radscheibe HUB und der Deckscheibe SHR befinden. Ein Prozessfluid PFL wird axial angesaugt und in die Radialrichtung nach außen umgelenkt, wo es aus dem rotierenden Laufrad IMP im Betrieb austretend in einen statischen Diffusor DFF gelangt.

[0037] Rippenleitschaufeln RPV des statischen Diffusors DFF homogenisieren und korrigieren die Geschwindigkeitsverteilung des austretenden Prozessfluids PFL bevor es in eine Spirale VLT eingeleitet wird. Die Rippenleitschaufeln RPV erstrecken sich entlang der Schaufelhöhe AFH zwischen zwei Diffusorbegrenzungswänden LDW ausgehend von einer Diffusorbegrenzungswand LDW an einer Gehäuseseite CSS in Richtung einer Diffusorbegrenzungswand LDW an einer Nabenseite HBS.

[0038] Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Laufrad IMP am Austritt eine axiale Laufradaustrittsbreite AXW aufweist, wobei der Diffusor DFF am Eintritt eine axiale Diffusorkanaleintrittsbreite IDW aufweist, wobei ein Ringraumbreitenverhältnis ACW definiert ist als axiale Diffusorkanaleintrittsbreite IDW zu axialer Laufradaustrittsbreite (AXW) mit:
$0{,}8 < ACW < 1$, besonders bevorzugt gilt:

$$0{,}85 < ACW < 0{,}98.$$

[0039] Figur 2 zeigt einen Schnitt gemäß II-II der Figur 1 schematisch. Entgegen der dort illustrierten Umfangsrichtung CDR, in einer Rotationsrichtung RDR ist dort das Laufrad IMP rotierbar um die Achse X dargestellt. Schematisch sind die Laufradschaufeln BLD des Laufrades IMP gezeigt mit einer konkaven Druckseite PRS und einer konvexen Saugseite SCS - ebenso die Rippenleitschaufeln RPV. Die Rotoraustrittskanten RRE der Laufradschaufeln BLD sind gegenüber dem Maximaldurchmesser IPD des Laufrads IMP etwas zurückversetzt auf einem Rotoraustrittskantendurchmesser TRI. Stromabwärts befinden sich Eintrittskanten LEE der Rippenleitschaufeln RPV auf einem Eintrittskantendurchmesser DLE.

[0040] Erfindungsgemäß gilt für das Verhältnis RDT des Rippeneintrittskantendurchmessers RLE zu dem mittleren Rotoraustrittskantendurchmesser TRI gilt: $1{,}04 < RLE/TRI < 1{,}1$.

[0041] Figur 3 zeigt ein Detail, das in der Figur 2 mit III ausgewiesen ist. Die in der Figur 3 illustrierten Zusammenhänge beziehen sich auf Winkelverhältnisse an Rippenleitschaufeln RPV und ebenso auf Diffusorleitschaufeln VNS, die sich mit der jeweiligen Schaufelhöhe AFH nicht nur über einen Teil der Diffusorkanalbreite ADW erstrecken, sondern über den gesamten Axialabstand der Diffusorbegrenzungswände LDW. Die in dieser Darlegung aufgezeigten Zusammenhänge sind für Diffusorleitschaufeln VNS bzw. Rippenleitschaufeln RPV mutatis mutandis gültig, so dass in der Figur 3 teils auch identische Bezugszeichen - die eine identische Bauteilbedeutung ausweisen - und Zusammenhänge für beide Anordnungen wiedergegeben sind.

[0042] Die beiden in Figur 3 abgebildeten exemplarischen Rippenleitschaufeln RPV bzw. Diffusorleitschaufeln VNS (nachfolgend für Figur 3 nur als Diffusorleitschaufeln VNS bezeichnet) weisen für jede Position der Schaufelhöhe AFH in ihrer Anordnung zueinander eine Schaufelüberdeckung SLD auf, die definiert ist als das Verhältnis einer Profilsehnenlänge CHD der jeweiligen Diffusorleitschaufel VNS zur Umfangsteilung CCP der Anordnung der Rippenleitschaufeln RPV bzw. Diffusorleitschaufeln VNS.

[0043] Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung gilt, dass die mittlere Schaufelüberdeckung SLD der Rippenleitschaufeln RPV zwischen $0{,}6 < SLD < 0{,}9$, besonders bevorzugt $0{,}65 < SLD < 0{,}75$ beträgt.

[0044] Für jede Position entlang der Profilmittellinie SCL des Schaufelprofils der Diffusorleitschaufeln VNS ist ein Anstellwinkel PMA definiert als der mathematisch positive Winkel von der Umfangstangente CDT auf die Tangente PMT an der Profilmittellinie SCL des Profils. Hierbei ist ein Eintrittskantenwinkel LEA bzw. Rippeneintrittswinkel REA ein Anstellwinkel PMA an der Eintrittskante LEE einer Diffusorleitschaufel VNS bzw. Rippenleitschaufel RPV. Ein Austrittskantenwinkel EXA ist ein Anstellwinkel PMA an einer Austrittskante TRE der Diffusorleitschaufeln VNS.

[0045] Bevorzugt gilt nach einer Weiterbildung der Erfindung, dass ein Rippeneintrittswinkel REA ein Rippenanstellwinkel RMA an einer Eintrittskante LEE einer Rippenleitschaufel RPV ist, wobei für den mittleren Rippeneintrittswinkel REA gilt:

$$12° < REA < 20°.$$

[0046] Für eine Differenz zwischen Eintrittskantenwinkel LEA und Austrittskantenwinkel EXA bzw. Rippenaustrittswinkel RXA gemittelt über die Schaufelhöhe AFH gilt für die Rippenleitschaufeln RPV:

$$4° < REA-RXA < 11°, \text{ bevorzugt } 6° < REA-RXA < 10°.$$

[0047] Die Figur 4 und 5 auch die Figur 6 zeigen unterschiedliche Ansichten einer Ausführung mit stromabwärts der Rippenleitschaufeln RPV angeordneten Diffusorleitschaufeln VNS, die sich ausgehend von der Gehäuseseite CSS entlang der gesamten Diffusorkanalbreite ADW in Richtung der Nabenseite HBS erstrecken.

[0048] Bei diesen Anordnungen mit stromabwärts der Rippenleitschaufeln RPV angeordneten Diffusorleitschaufeln VNS beträgt der Eintrittskantenwinkel LEA der Diffusorleitschaufeln VNS zwischen 23° < LEA < 30°, wobei bevorzugt für eine Differenz Eintrittskantenwinkel (LEA) - Austrittskantenwinkel (EXA) bei den Diffusorleitschaufeln VNS gilt:

$$-4° < LEA-EXA < 10°.$$

[0049] Für den Rippeneintrittswinkel REA gilt bei einer Anordnung einer Diffusorleitschaufel VNS stromaufwärts der Rippenleitschaufel RPV bevorzugt:

$$12° > REA > 20°.$$

[0050] Für den Rippenaustrittswinkel RXA - also den Rippenanstellwinkel an einer Rippenaustrittskante der Rippenleitschaufeln RPV gilt im Zusammenhang mit dem Rippeneintrittswinkel REA, dass für die Differenz RFA zwischen Rippeneintrittswinkel REA und Rippenaustrittswinkel RXA gemittelt über die Schaufelhöhe AFH gilt:

$$4° > REA -RXA > 11°.$$

[0051] Besonders zweckmäßig beträgt das Verhältnis der Anzahl der Rippenleitschaufeln RPV zu der Anzahl der Diffusorleitschaufeln VNS: 0,5 oder 1 oder 2. Besonders zweckmäßig weist die Anordnung ARA 8-24 Diffusorleitschaufeln VNS auf.

[0052] Für die Diffusorschaufeln VNS gilt bevorzugt gemittelt über die Schaufelhöhe AFH eine Schaufelüberdeckung SLD zwischen 0,45 und 0,9 besonders bevorzugt zwischen 0,65 und 0,75. Die Schaufelüberdeckung SLD ist hierbei definiert als das Verhältnis einer Profilsehnenlänge CHD der jeweiligen Diffusorschaufel VNS zur Umfangsteilung CCP der Anordnung der Diffusorschaufeln VNS.

[0053] Figur 6 zeigt die Kombination der axialen Aufweitung der Diffusorkanalbreite bzw. der schräg gestellten gehäuseseitigen Diffusorbegrenzungswand LDW mit der Anordnung der Rippenleitschaufeln RPV stromaufwärts der Diffusorleitschaufeln VNS. Weiterhin zeigt Figur 6 eine Aufweitung des Axialabstandes zwischen axialen Diffusorbegrenzungswänden LDW mit zunehmender radialer Erstreckung. Hierbei sind die Diffusorbegrenzungswände LDW derart ausgebildet, dass auf der Nabenseite HUB die Diffusorbegrenzungswand LDW weniger schräg zur Radialrichtung sich erstreckt als die Diffusorbegrenzungswand LDW auf der Gehäuseseite SHR. Dadurch ergibt sich eine mindestens 80% axiale Ausweitung ausschließlich aus der Schrägstellung der Diffusorbegrenzungswand LDW auf der Gehäuseseite CSS.

[0054] Konkret ist es bevorzugt, dass im Bereich von Eintrittskanten LEE der Diffusorleitschaufeln VNS der Diffusor DFF eine axiale Diffusorleitschaufeleintrittsbreite IVW aufweist, wobei im Bereich von Austrittskanten der Diffusorleitschaufeln VNS der Diffusor DFF eine axiale Diffusorleitschaufelaustrittsbreite EVW aufweist, wobei ein Leitschaufelringraumbreitenverhältnis AVW definiert ist als axiale Diffusorleitschaufelaustrittsbreite EVW zu axiale Diffusorleitschaufeleintrittsbreite IVW

$$1,0 < AVW <1,4.$$

[0055] Damit es keine Beaufschlagung der Diffusorleitschaufeln VNS durch Nachlaufdellen in der Strömung aus den Rippenleitschaufeln RPV gibt, ist es bevorzugt, dass die Eintrittskanten LEE der Diffusorleitschaufeln VNS außerhalb

eines Umgebungsbereiches von +/-10% der Teilung CCP der Rippenleitschaufeln RPV in Umfangsrichtung CDR ausgehend von einer Tangente an der Profilmittellinie RHD der Rippenleitschaufel RPV an der Austrittskante TRE der stromaufwärts der Diffusorleitschaufeln VNS angeordneten Rippenleitschaufeln RPV angeordnet sind.

[0056] Besonders bevorzugt ist die Anzahl der Diffusorleitschaufeln VNS doppelt so hoch wie die der Rippenleitschaufel RPV und die Diffusorleitschaufeln VNS befinden sich besonders bevorzugt ausgehend von einer Tangente an der Profilmittellinie RHD der Rippenleitschaufel RPV an der Austrittskante TRE der stromaufwärts der Diffusorleitschaufeln VNS angeordneten Rippenleitschaufeln RPV mittig zu den Rippenleitschaufeln RPV.

Patentansprüche

1. Anordnung (ARA) mit einem Diffusor (DFF) für eine Strömungsmaschine (CMP) mit einem Laufrad (IMP) stromaufwärts des Diffusors (DFF),
wobei der Diffusor (DFF) und das Laufrad (IMP) sich ringförmig um eine Achse (X) entlang einer Umfangsrichtung (CDR) erstrecken,
wobei sich die Rippenleitschaufeln (RPV) entlang der Schaufelhöhe (AFH) zwischen zwei Diffusorbegrenzungswänden (LDW) ausgehend von einer Diffusorbegrenzungswand (LDW) an einer Gehäuseseite (CSS) in Richtung einer Diffusorbegrenzungswand (LDW) an einer Nabenseite (HBS) erstrecken,
wobei sich Rippenleitschaufeln (RPV) ausgehend von der Gehäuseseite (CSS) entlang 25%-50% einer Diffusorkanalbreite (ADW) in Richtung der Nabenseite (HBS) erstrecken,
wobei die Rippenleitschaufeln (RPV) Eintrittskanten (LEE) aufweisen, die an einem mittleren Rippeneintrittskantendurchmesser (RLE) angeordnet sind,
wobei das Laufrad (IMP) Laufradschaufeln (BLD) aufweist, wobei die Laufradschaufeln (BLD) Rotoraustrittskanten (RRE) aufweisen,
wobei die Rotoraustrittskanten (RRE) im Mittel über die jeweilige Schaufelhöhe (AFH) an einem mittleren Rotoraustrittskantendurchmesser (TRI) angeordnet sind,
dadurch gekennzeichnet, dass
für das Verhältnis (RDT) des Rippeneintrittskantendurchmessers (RLE) zu dem mittleren Rotoraustrittskantendurchmesser (TRI) gilt: $1{,}04 < RLE/TRI < 1{,}1$.

2. Anordnung (ARA) nach Anspruch 1,
wobei eine Rippenprofilmittellinie definiert ist als eine Profilmittellinie (SCL) eines Schaufelprofils der Rippenleitschaufeln (RPV),
wobei ein Rippenanstellwinkel (RMA) definiert ist als der mathematisch positive Winkel von einer Umfangstangente (CDT) an der jeweiligen Position der dortigen Tangente an der Rippenprofilmittellinie,
wobei ein Rippeneintrittswinkel (REA) ein Rippenanstellwinkel (RMA) an einer Eintrittskante (LEE) einer Rippenleitschaufel (RPV) ist,
wobei für den mittleren Rippeneintrittswinkel (REA) gilt:

$$12° < REA < 20°.$$

3. Anordnung (ARA) nach Anspruch 2, wobei ein Rippenaustrittswinkel (RXA) ein Rippenanstellwinkel (RMA) an einer Austrittskante (TRE) der Rippenleitschaufeln (RPV) ist, wobei für die Rippenanstellwinkeldifferenz (RFA) zwischen Rippeneintrittswinkel (REA) und Rippenaustrittswinkel (RXA) gemittelt über die Schaufelhöhe (AFH) gilt:

$$4° < REA-RXA < 11°.$$

4. Anordnung (ARA) nach Anspruch 3, wobei für die Rippenanstellwinkeldifferenz (RFA) gemittelt über die Schaufelhöhe (AFH) gilt: $6° < REA-RXA < 10°$.

5. Anordnung (ARA) nach einem der Ansprüche 1 - 3, wobei die Rippenleitschaufeln (RPV) für jede Position der Rippenhöhe (RFH) eine Profilsehnenlänge (CHD) aufweisen,
wobei die Rippenleitschaufeln (RPV) für jede Position der Rippenhöhe (RFH) eine Schaufelüberdeckung (SLD) aufweisen, die definiert ist als das Verhältnis der Profilsehnenlänge (CHD) der jeweiligen Rippenleitschaufeln (RPV) zu einer Umfangsteilung (CCP) der Anordnung der Rippenleitschaufeln (RPV),

wobei die mittlere Schaufelüberdeckung (SLD) der Rippenleitschaufeln (RPV) zwischen 0,6 < SLD < 0,9 beträgt.

6. Anordnung (ARA) nach Anspruch 5, wobei die mittlere Schaufelüberdeckung (SLD) der Rippenleitschaufeln (RPV) zwischen 0,65 < SLD < 0,75 beträgt.

7. Anordnung (ARA) nach einem der Ansprüche 1 - 6, wobei das Laufrad (IMP) am Austritt eine axiale Laufradaustrittsbreite (AXW) aufweist,
wobei der Diffusor (DFF) am Eintritt eine axiale Diffusorkanaleintrittsbreite (IDW) aufweist,
wobei ein Ringraumbreitenverhältnis (ACW) definiert ist als axiale Diffusorkanaleintrittsbreite (IDW) zu axialer Laufradaustrittsbreite (AXW) mit:

$$0,8 < ACW < 1.$$

8. Anordnung (ARA) nach Anspruch 7, wobei das Ringraumbreitenverhältnis (ACW)
zwischen 0,85 < ACW <0,98 beträgt.

9. Anordnung (ARA) nach einem der Ansprüche 1 - 8, wobei der Diffusor (DFF) zumindest teilweise stromabwärts der Rippenleitschaufeln (RPV) Diffusorleitschaufeln (VNS) aufweist, die sich entlang deren Schaufelhöhe (AFH) zwischen den zwei Diffusorbegrenzungswänden (LDW) ausgehend von der Diffusorbegrenzungswand (LDW) an einer Gehäuseseite (CSS) bis zu der Diffusorbegrenzungswand (LDW) an einer Nabenseite (HBS) erstrecken.

10. Anordnung (ARA) nach Anspruch 9, wobei die Diffusorleitschaufeln (VNS) zu mindestens 70% der Profilsehnenlängen (CHD) stromabwärts der Rippenleitschaufeln (RPV) angeordnet sind.

11. Anordnung (ARA) nach Anspruch 9 oder 10, wobei das Verhältnis der Anzahl der Rippenleitschaufeln (RPV) zu der Anzahl der Diffusorleitschaufeln (VNS) 0,5, 1 oder 2 ist.

11. Anordnung (ARA) nach Anspruch 10, wobei die Anordnung (ARA) 8-24 Diffusorleitschaufeln (VNS) aufweist.

12. Anordnung (ARA) nach einem der Ansprüche 9 - 11, wobei die Diffusorschaufeln (VNS) für jede Position der Schaufelhöhe (AFH) eine Schaufelüberdeckung (SLD) aufweisen, die definiert ist als das Verhältnis einer Profilsehnenlänge (CHD) der jeweiligen Diffusorschaufel (VNS) zur Umfangsteilung (CCP) der Anordnung der Diffusorschaufeln (VNS),
wobei die Schaufelüberdeckung (SLD) der Diffusorleitschaufeln (VNS) im Mittel zwischen 0,45 und 0,9 beträgt, bevorzugt zwischen 0,65 und 0,75.

14. Anordnung (ARA) nach einem der Ansprüche 1 - 12, wobei die Rippenleitschaufeln (RPV) und/oder die Diffusorleitschaufeln (VNS) ein gewölbtes und profiliertes Profil aufweisen.

15. Anordnung (ARA) nach einem der Ansprüche 9 - 14, wobei für jede Position entlang der Profilmittellinie (SCL) des Schaufelprofils der Diffusorleitschaufeln (VNS) ein Anstellwinkel (PMA) definiert ist als der mathematisch positive Winkel von der Umfangstangente (CDT) an der jeweiligen Position der Profilmittellinie (SCL) auf die dortige Tangente (PMT) an der Profilmittellinie (SCL),
wobei ein Eintrittskantenwinkel (LEA) ein Anstellwinkel (PMA) an der Eintrittskante (LEE) ist,
wobei der Eintrittskantenwinkel (LEA)
zwischen 23° < LEA < 30° beträgt.

16. Anordnung (ARA) nach Anspruch 15,
wobei ein Austrittskantenwinkel (EXA) ein Anstellwinkel (PMA) an der Austrittskante (TRE) der Diffusorleitschaufeln (VNS) ist,
wobei für eine Leitschaufelanstellwinkeldifferenz (DFA) Eintrittskantenwinkel (LEA) - Austrittskantenwinkel (EXA) gilt:

$$-4° < LEA-EXA < 10°.$$

17. Anordnung (ARA) nach einem der Ansprüche 9 - 16,
wobei im Bereich von Eintrittskanten (LEE) der Diffusorleitschaufeln (VNS) der Diffusor (DFF) eine axiale Diffusorleitschaufeleintrittsbreite (IVW) aufweist,
wobei im Bereich von Austrittskanten der Diffusorleitschaufeln (VNS) der Diffusor (DFF) eine axiale Diffusorleitschaufelaustrittsbreite (EVW) aufweist,
wobei ein Leitschaufelringraumbreitenverhältnis (AVW) definiert ist als axiale Diffusorleitschaufelaustrittsbreite (EVW) zu axiale Diffusorleitschaufeleintrittsbreite (IVW)

$$1,0 < AVW < 1,4.$$

18. Anordnung (ARA) nach Anspruch 17,
wobei die Aufweitung von der axiale Diffusorleitschaufeleintrittsbreite (IVW) zu der axialen Diffusorleitschaufelaustrittsbreite (EVW) zu mindestens 80% aus einer Schrägstellung der Diffusorbegrenzungswand (LDW) auf der Gehäuseseite (CSS) gegenüber der Radialrichtung resultiert.

19. Anordnung (ARA) nach einem der Ansprüche 9 - 17,
wobei die Eintrittskanten (LEE) der Diffusorleitschaufeln (VNS) außerhalb eines Umgebungsbereiches von +/-10% der Teilung (CCP) der Rippenleitschaufeln (RPV) in Umfangsrichtung (CDR) ausgehend von einer Tangente an der Profilmittellinie (RHD) der Rippenleitschaufel (RPV) an der Austrittskante (TRE) der stromaufwärts der Diffusorleitschaufeln (VNS) angeordneten Rippenleitschaufeln (RPV) angeordnet sind.

20. Strömungsmaschine (CMP) mit einer Anordnung (ARA) nach mindestens einem der Ansprüche 14 bis 18.

FIG 1

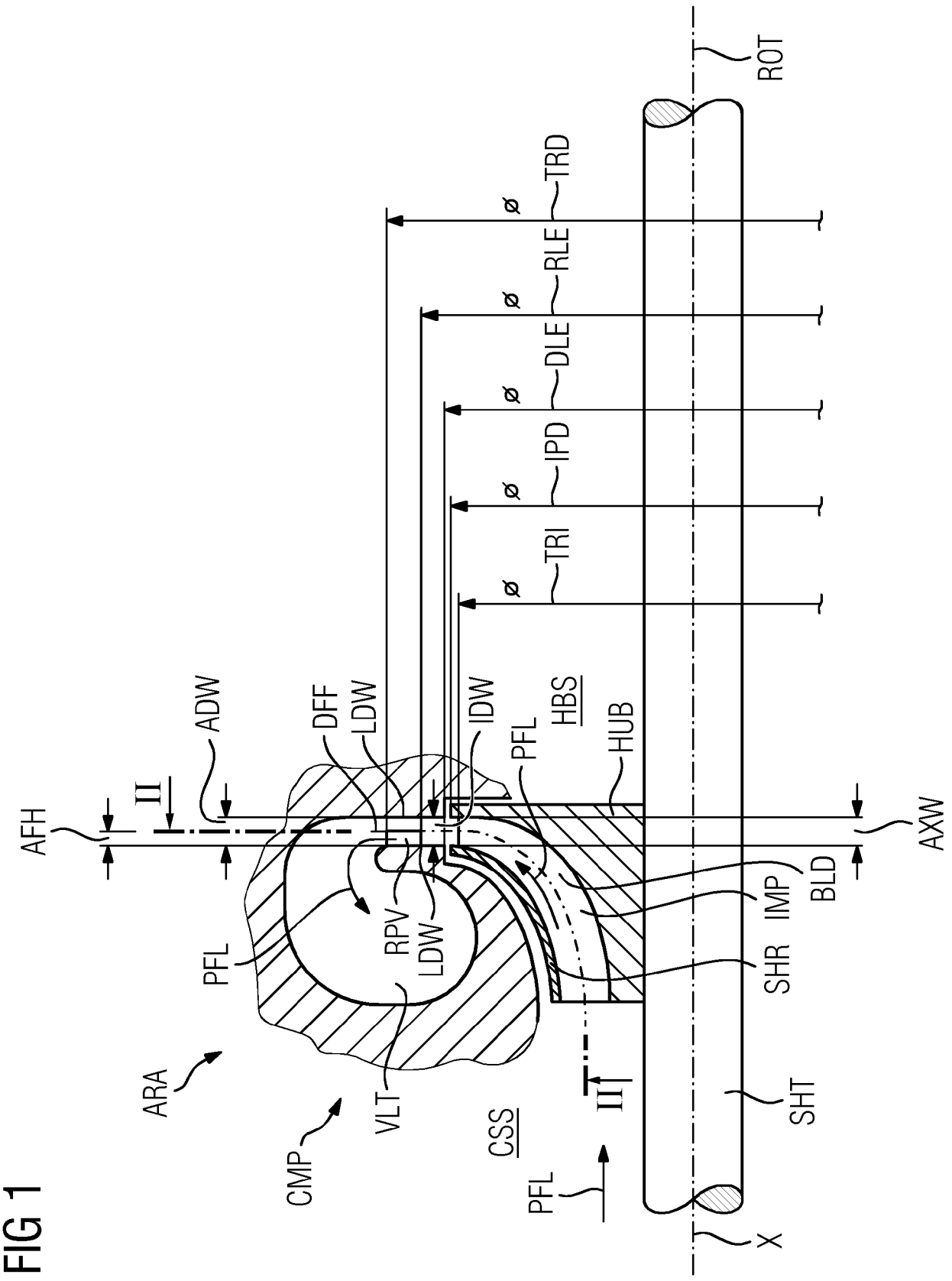

ROT
TRD
RLE
DLE
IPD
TRI
ø
ADW
DFF
LDW
IDW
PFL
HBS
HUB
AFH
II
AXW
BLD
IMP
SHR
RPV
LDW
PFL
ARA
CMP
VLT
CSS
II
SHT
PFL
X

FIG 2

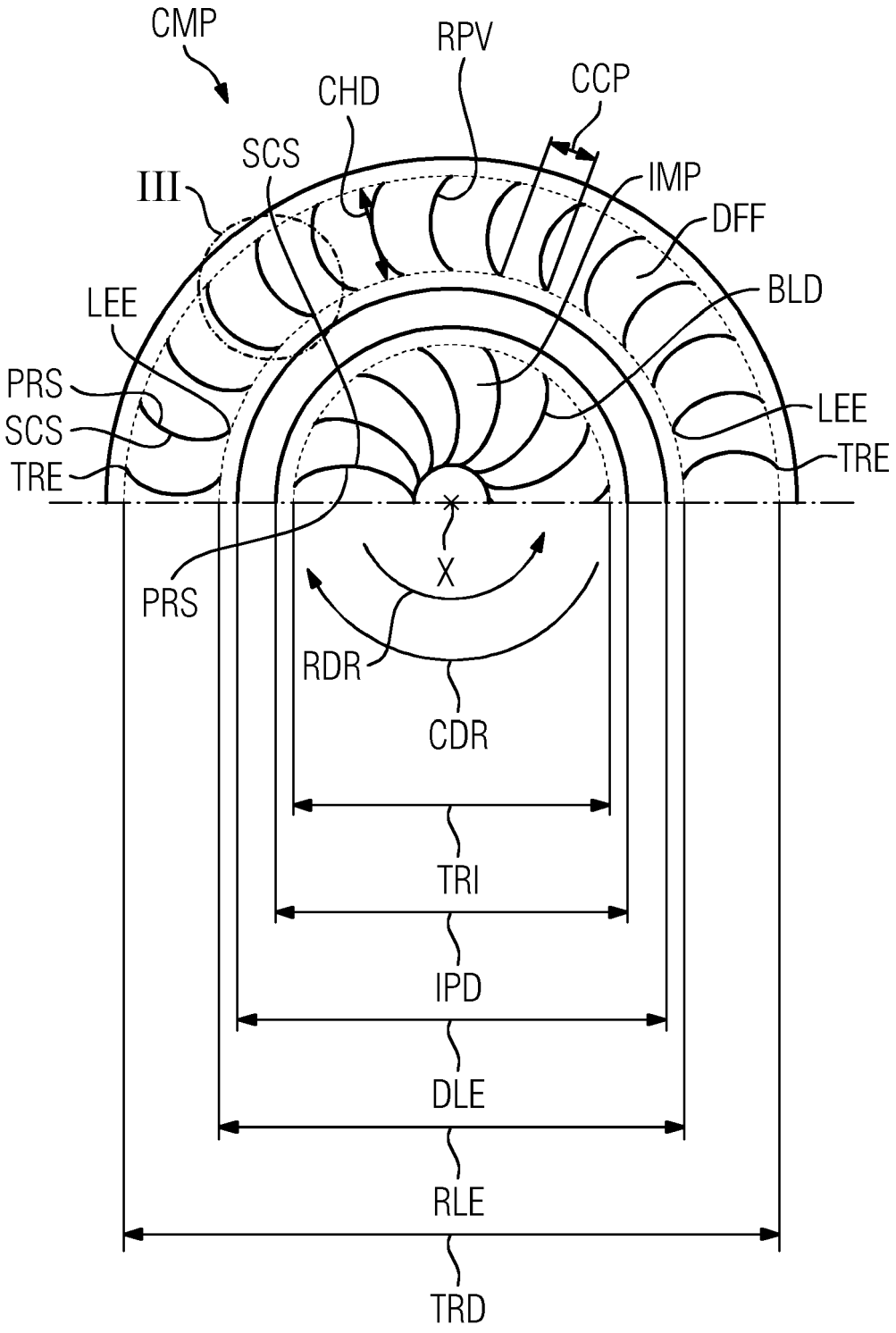

CMP
RPV
CCP
CHD
SCS
III
IMP
DFF
BLD
LEE
PRS
SCS
TRE
LEE
TRE
X
PRS
RDR
CDR
TRI
IPD
DLE
RLE
TRD

FIG 3

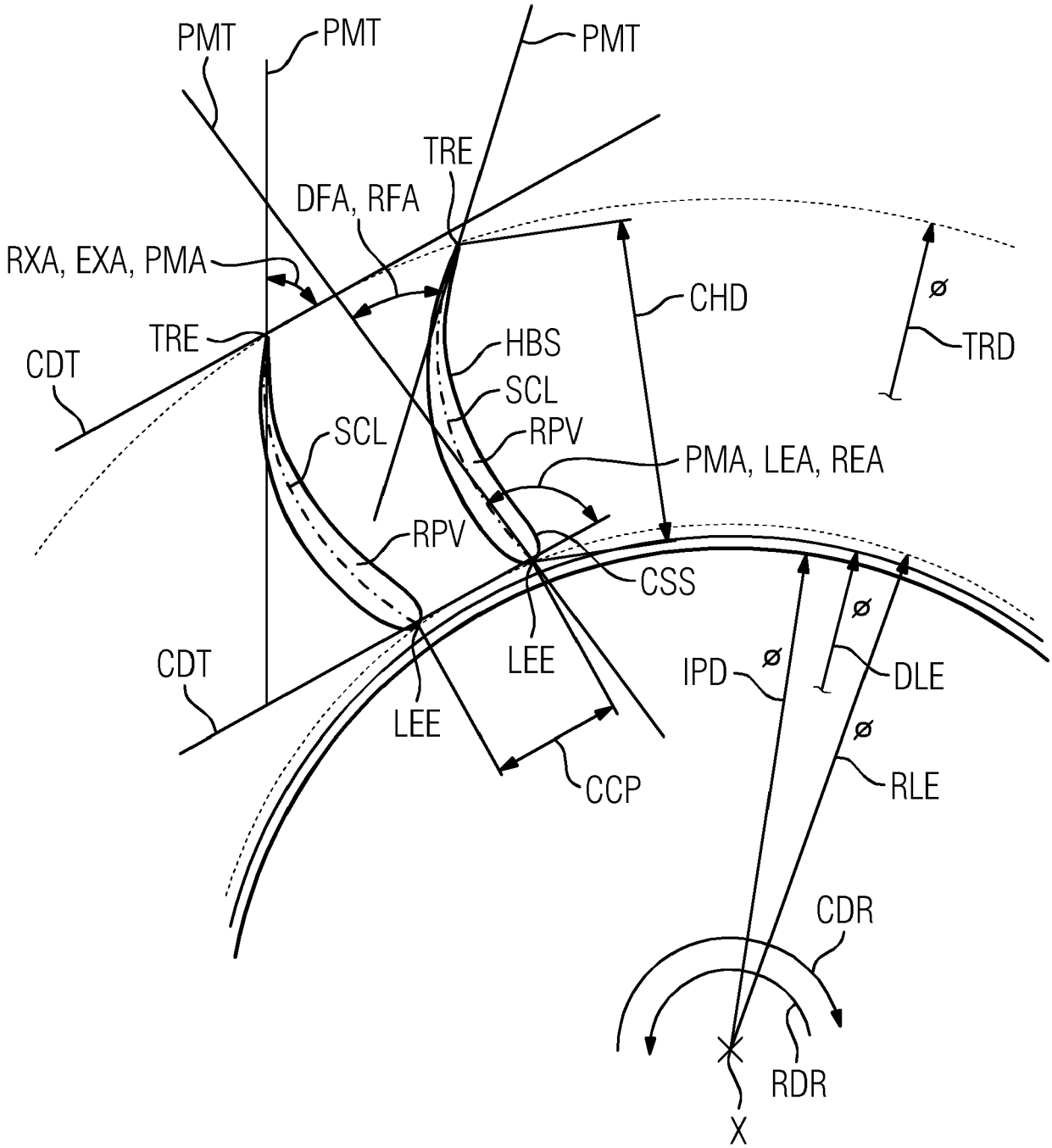

PMT
PMT
PMT
TRE
DFA, RFA
RXA, EXA, PMA
CHD
TRE
HBS
TRD
CDT
SCL
SCL
RPV
PMA, LEA, REA
RPV
CSS
CDT
LEE
IPD
DLE
LEE
CCP
RLE
CDR
RDR
X

FIG 4

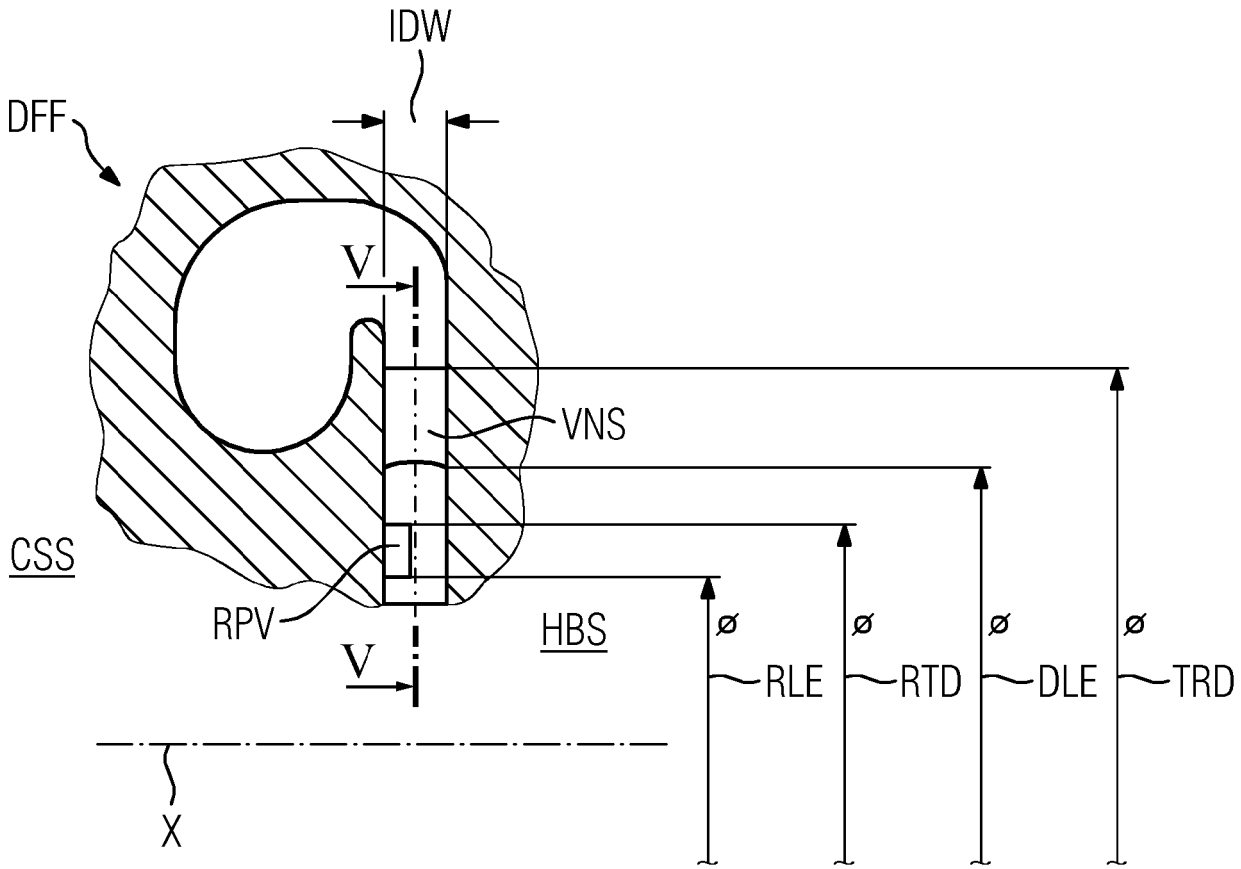


FIG 5

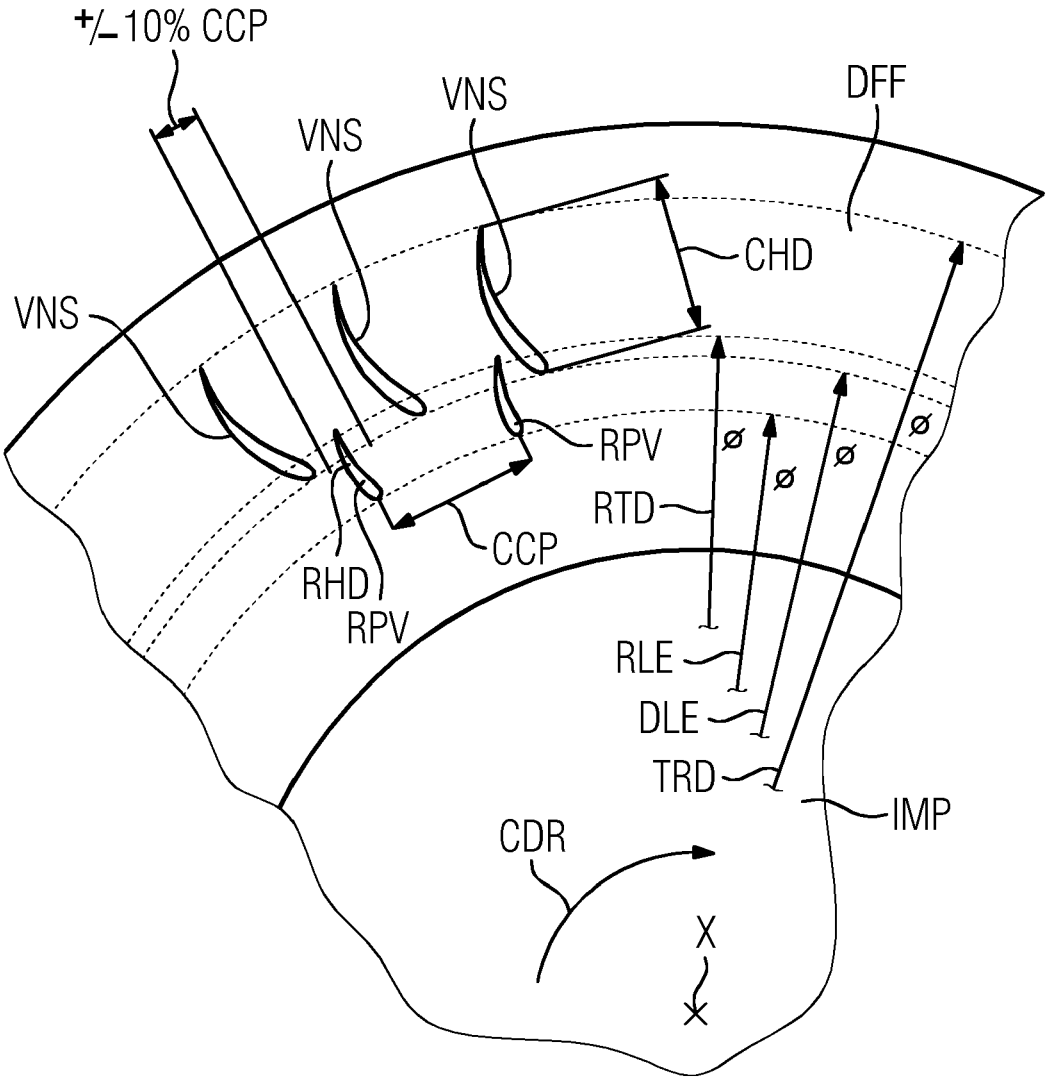
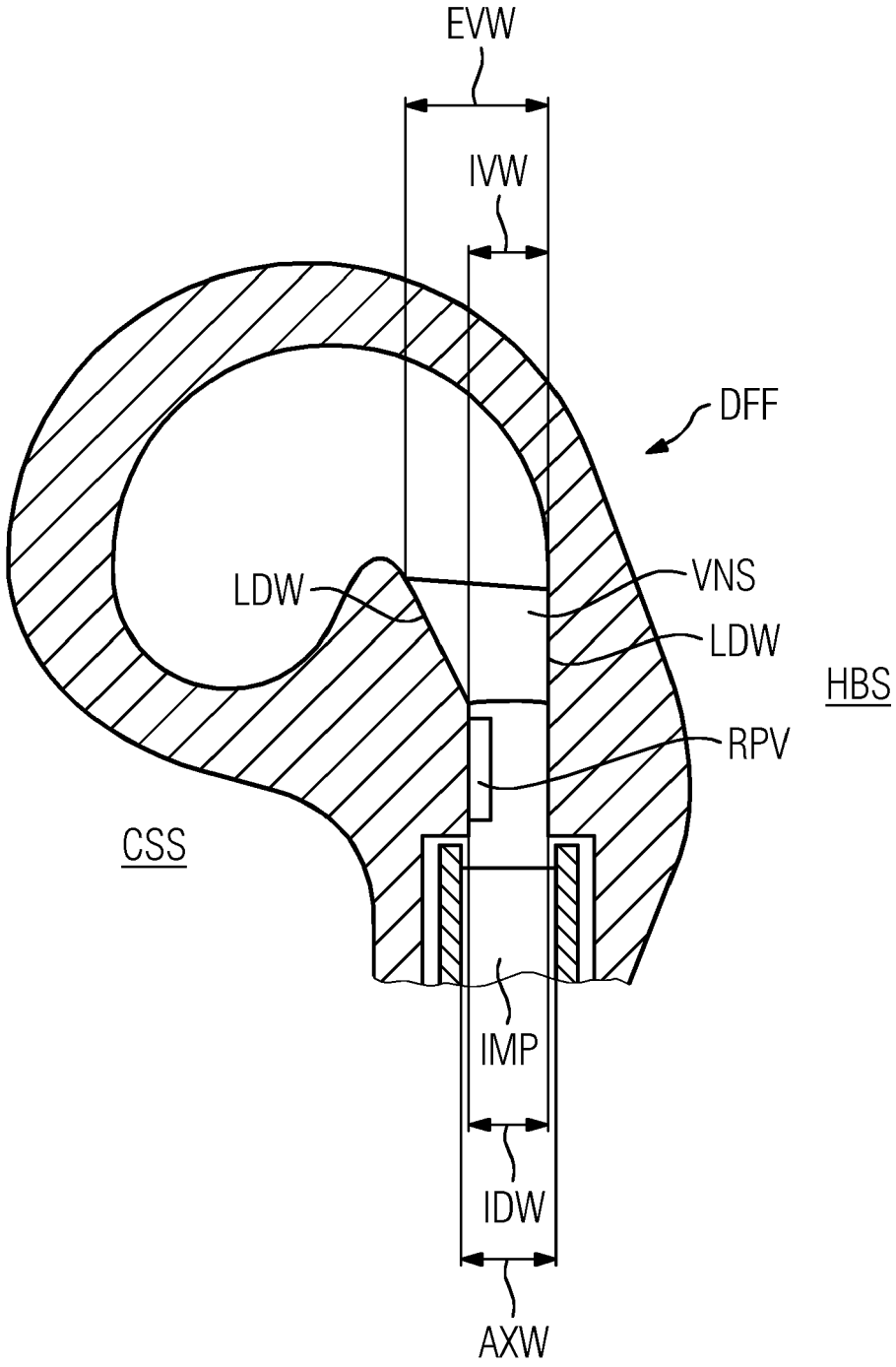

+/– 10% CCP
VNS
VNS
VNS
DFF
CHD
RPV
RTD
CCP
RHD
RPV
RLE
DLE
TRD
IMP
CDR
X

FIG 6



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 19 18 4292

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 5 178 516 A (NAKAGAWA KOJI [JP] ET AL) 12. Januar 1993 (1993-01-12) * Spalte 1, Zeile 7 - Zeile 10 * * Spalte 4, Zeile 43 - Zeile 67 * * Spalte 5, Zeile 50 - Spalte 6, Zeile 11 * * Abbildungen 1, 8-10 * -----	1-20	INV. F04D29/44 ADD. F01D9/04
X	EP 1 860 325 A1 (ABB TURBO SYSTEMS AG [CH]) 28. November 2007 (2007-11-28) * Absatz [0001] * * Absatz [0018] - Absatz [0022] * * Abbildungen 1, 3 * -----	1,14,17, 18,20	
X	US 5 529 457 A (TERASAKI MASATOSI [JP] ET AL) 25. Juni 1996 (1996-06-25) * Spalte 1, Zeile 6 - Zeile 9 * * Spalte 3, Zeile 41 - Spalte 4, Zeile 33 * * Spalte 5, Zeile 27 - Zeile 54 * * Abbildungen 1, 7-10 * -----	1-20	
X,D	EP 0 446 900 A1 (HITACHI LTD [JP]) 18. September 1991 (1991-09-18) * Spalte 1, Zeile 5 - Zeile 8 * * Spalte 6, Zeile 18 - Zeile 59 * * Abbildungen 2, 6 * -----	1-8,14, 20	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F04D F01D
A	SOROKES J M ET AL: "EXPERIMENTAL RESULTS ON A ROTATABLE LOW SOLIDITY VANED DIFFUSER", INTERNATIONAL GAS TURBINE AND AEROENGINE CONGRESS ANDEXPOSITION, XX, XX, 1. Juni 1992 (1992-06-01), Seiten 1-09, XP000565938, * Abbildung 1 * -----	5,6,13	

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München	3. Januar 2020	Nicolai, Sébastien

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE

X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie
A : technologischer Hintergrund
O : nichtschriftliche Offenbarung
P : Zwischenliteratur

T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument

& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR. EP 19 18 4292

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.

03-01-2020

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5178516 A	12-01-1993	KEINE	
EP 1860325 A1	28-11-2007	CN 101454577 A	10-06-2009
		EP 1860325 A1	28-11-2007
		EP 2024644 A1	18-02-2009
		JP 5546855 B2	09-07-2014
		JP 2009538403 A	05-11-2009
		KR 20090010220 A	29-01-2009
		US 2007274826 A1	29-11-2007
		US 2012128479 A1	24-05-2012
		WO 2007137924 A1	06-12-2007
US 5529457 A	25-06-1996	CN 1116280 A	07-02-1996
		JP 3153409 B2	09-04-2001
		JP H07259796 A	09-10-1995
		KR 950027209 A	16-10-1995
		US 5529457 A	25-06-1996
EP 0446900 A1	18-09-1991	DE 69106179 D1	09-02-1995
		DE 69106179 T2	27-07-1995
		EP 0446900 A1	18-09-1991
		JP H03264796 A	26-11-1991
		JP H07103874 B2	08-11-1995

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

- EP 2650546 A1 **[0005]**
- WO 2019057412 A1 **[0006]**
- WO 2019057413 A1 **[0006]**
- WO 2019057414 A1 **[0006]**
- US 4850795 A **[0007]**
- EP 446900 B1 **[0007]**