



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Verdichteranordnung mit mindestens einem Turboverdichter zur Verdichtung eines Prozessfluids.

Daneben betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Verflüssigung von einem gasförmigen Prozessfluid, insbesondere von Erdgas mittels einer Verflüssigungsanlage der eingangs definierten Art.

**[0002]** Ein Verfahren zur Verflüssigung von einem gasförmigen Prozessfluid ist bereits aus der WO 2016/020282 bekannt. Der Prozess der Verflüssigung wird dort in Grundzügen beschrieben, wobei er im Wesentlichen daraus besteht, dass gasförmiges Erdgas angesaugt, verdichtet, abgekühlt und entspannt wird. Nach der Abkühlung und der anschließenden Entspannung entsteht auch unter Ausnutzung des Joule-Thomson-Effekts eine Fraktion flüssigen Erdgases, das in einem Behälter gelagert wird. Der Prozess ist in der der WO 2016/020282 vereinfacht dargestellt und wird in der tatsächlichen Umsetzung in der Regel aufwändiger ausfallen, beispielsweise weitere Verdichtungsschritte aufweisen und/oder zusätzliche Zwischenkühlungen bzw. Wärmetauscher benötigen.

**[0003]** Für die Verdichtung im Rahmen der Gasverflüssigung geeignete Turboverdichter sind insbesondere einwellige Radialturboverdichter mit bevorzugt vertikaler Teilfuge. Diese Maschinen eignen sich für die thermodynamischen Randbedingungen, insbesondere für die regelmäßig erforderlichen Ansaugvolumina und Enddrücke, besonders gut, so dass eine lange Standzeit mit hoher Verfügbarkeit zu erwarten ist. Ein derartiger Verdichter ist beispielsweise aus der WO 2007/137959 bekannt.

**[0004]** Im Rahmen der Gasverflüssigung bzw. des häufigen Falls der Gasverflüssigung, insbesondere der Erdgasverflüssigung entstehen an dem zur Lagerung des verflüssigten Gases vorgesehenen Behältern stets Gasdämpfe - das sogenannte Boil-Off-Gas. Erdgas wird beispielsweise bei einer Temperatur von ca. - 161°C gelagert, so dass es unter dem Einfluss der Umgebungstemperatur zu entsprechenden Mengen an Gasdämpfen kommt. Bevorzugt werden diese Gase nicht einfach abgefackelt, sondern verdichtet und zumindest teilweise als Brennstoff für unterschiedliche Verbraucher genutzt. Die zu diesem Zweck verwendeten Verdichter müssen einen sehr breiten Einsatzbereich hinsichtlich des zu verdichtenden Volumenstroms aufweisen, weil die anfallende Menge stark von dem momentanen Betrieb der Verflüssigungsanlage abhängt. Bei der Verflüssigung fällt eine konstante - im Verhältnis zu den weiteren hier benannten Betriebsmodi mittlere Menge - an Boil-Off-Gas an. Bei der Be- und Entladung - beispielsweise von dem Behälter der Anlage auf ein Frachtschiff - fällt eine hohe Menge an Boil-Off-Gas an. Während des Stillstandes der Anlage ist die Menge an Boil-Off-Gas verhältnismäßig gering. Die entstehenden Gasdämpfe müssen jedenfalls verdichtet werden mittels des erfindungsgemäßen Turbo-

verdichters, so dass in Folge der Breite des erforderlichen Betriebsbereichs von dem Turboverdichter bei herkömmlicher Ausführung zunächst kein guter Wirkungsgrad erwartet werden kann.

**[0005]** Die Verdichtung der Gasdämpfe erfordert in der Regel darüber hinaus zusätzliche Wärmetauscher, damit die Endtemperatur der Verdichtung nicht zu hoch ist. In den Betriebszuständen der Anlage, bei denen nur ein verhältnismäßig geringer Strom an Gasdampf anfällt, kann es erforderlich sein, dass ein anderer Teilstrom zu dem zu verdichtenden Prozessfluid zugemischt werden muss, damit der Verdichter in der Lage ist, die Verdichtungsaufgabe für diesen geringen Volumenstrom überhaupt durchzuführen. Dieser Teilstrom kann zum Beispiel aus einer Rezirkulation entnommen werden.

**[0006]** Ausgehend von den Problemen und Nachteilen des Standes der Technik hat es sich die Erfindung zur Aufgabe gemacht, einen Turboverdichter und ein Verfahren der eingangs genannten Art weiterzubilden, so dass Nachteile hinsichtlich des Wirkungsgrades und hinsichtlich der Investitionskosten für eine derartige Anlage reduziert werden.

**[0007]** Zur Lösung der Aufgabe wird ein Turboverdichter mit den kennzeichnenden Merkmalen des unabhängigen Vorrichtungsanspruchs vorgeschlagen. Weiterhin wird ein Verfahren der eingangs genannten Art mit den zusätzlichen Merkmalen des Kennzeichens des Anspruchs 5 vorgeschlagen.

**[0008]** Besonders zweckmäßig kann die Verdichteranordnung einen Hauptströmungspfad des Prozessfluids aufweisen, entlang dessen dem Prozessfluid eine Druckerhöhung aufgeprägt wird, wobei besonders bevorzugt die Verdichteranordnung eine Rezirkulationsleitung aufweisen kann, die eine erste Position des Hauptströmungspfades mit einem höherem Druckniveau mit einer zweiten Position des Hauptströmungspfades mit einem niedrigerem Druckniveau einen Nebenströmungspfad bildend fluidleitend verbindet, wobei der mindestens eine Turboverdichter ein Gehäuse aufweist, wobei in dem Gehäuse rotierbare Strömungselemente eines Rotors des Turboverdichters entlang eines durch statische Strömungselemente begrenzten inneren Strömungspfades angeordnet sind, wobei der innere Strömungspfad umfassend die rotierbaren Strömungselemente und statischen Strömungselemente zur Verdichtung des gasförmigen Prozessfluids ausgebildet ist.

**[0009]** Unter der direkten Einspritzung versteht die Erfindung die Einspritzung direkt in den Strömungspfad des Prozessfluids ohne gesonderte Beschleunigung oder Verzögerung des Prozessfluids zum Zweck der Zumischung der flüssigen Phase. Insbesondere ist hierzu nach der Erfindung kein gesonderter Prozessbehälter vorgesehen. Beispielsweise wird die Einspritzvorrichtung einfach in eine bestehende Anlage eingefügt, ohne die Anlage ansonsten zu ändern, beispielsweise in eine Rohrleitung oder als Modul in eine ansonsten nicht geänderte Rückführstufe. Die Einspritzvorrichtungen können hierbei als Bestandteil der Rückführstufenbegren-

zungswände oder der Leitschaufeln ausgebildet sein.

**[0010]** Der erfindungsgemäße Turboverdichter hat gegenüber der herkömmlichen Ausführung den Vorteil, dass in Folge des eingespritzten Massenstroms sowohl die Temperatur des Prozessfluids herabgesetzt werden kann als auch der zu verdichtende Volumenstrom bedarfsgerecht erhöht werden kann, so dass der Verdichter näher an seinem Wirkungsgradoptimum betrieben werden kann. Dementsprechend kommt man häufig bei kleinen Boil-Off-Gas Strömen mit einem geringeren zusätzlich beigemischten Massenstrom aus, der aus der Rezirkulation zugespeist werden kann. Da die Vermischung des Einspritzmassenstroms mit dem ansonsten zu verdichtenden Massenstrom gemäß einer Variante der Erfindung in dem Turboverdichter oder gemäß der zweiten Variante in der Rezirkulationsleitung stattfindet, entfällt auch die Notwendigkeit, einen zusätzlichen Prozessbehälter zur Vermischung der Massenströme vorzusehen. Aufgrund der abkühlenden Zumischung flüssigen Prozessgases zu dem zu verdichtenden Prozessgas direkt in den Turboverdichter oder dem Nebenströmungspfad ergibt sich auch eine bessere Annäherung des Prozesses an einen isothermen Prozess, so dass mit weiteren Wirkungsgradvorteilen zu rechnen ist.

**[0011]** Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass der Turboverdichter einen Ansaugflansch als Bestandteil des inneren Strömungspfad aufweist, wobei eine Einspritzvorrichtung zur Zufuhr des flüssigen Prozessfluids in dem Ansaugflansch vorgesehen ist. Hierbei bezeichnet das Attribut "in dem Ansaugflansch" den Umstand, dass der Ansaugflansch einen Teilabschnitt zu Beginn des inneren Strömungspfad des Prozessfluids durch den Turboverdichter definiert und die Einspritzvorrichtung das flüssige Prozessfluid in diesen definierten Bereich zuführt.

**[0012]** Eine andere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass der innere Strömungspfad entlang einer Durchströmungsrichtung an mindestens einer Zwischenposition zwischen zwei Abschnitten mit rotierbaren Strömungsleitelementen mindestens eine Einspritzvorrichtung aufweist. Auf diese Weise wird direkt nach verlustbehafteter Zuführung technischer Arbeit das Prozessfluid mittels des eingespritzten flüssigen Prozessfluids abgekühlt und zum Beispiel eine angenähert isotherme Verdichtung ermöglicht.

**[0013]** Bei einer vorteilhaften Ausbildung des Turboverdichters als Radialverdichter werden die Zwischenpositionen als Rückführstufen ausgebildet, so dass beispielsweise in dem Abschnitt einer 180°-Umlenkung die Einspritzung des kühlenden, flüssigen Prozessfluids erfolgen kann.

**[0014]** Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Gehäuse des mindestens einen Turboverdichters einen Ansaugflansch und einen Austrittsflansch aufweist, die den statischen Strömungsleitelementen des Turboverdichters zugehören, wobei entlang einer Durchströmungsrichtung der Ansaugflansch den Beginn des inneren Strömungspfad und der Austritts-

flansch das Ende des inneren Strömungspfad für den mindestens einen Turboverdichter bilden. Hierbei ist es zweckmäßig, wenn der innere Strömungspfad entlang einer Durchströmungsrichtung an mindestens einer Zwischenposition zwischen zwei Abschnitten mit rotierbaren Strömungsleitelementen einen Bereich ohne rotierbare Strömungsleitelemente aufweist und dort mindestens eine Einspritzvorrichtung aufweist. Besonders zweckmäßig ist es hierbei, wenn der mindestens eine Turboverdichter als ein Radialverdichter ausgebildet ist und die mindestens eine Zwischenposition als Rückführstufe. In dem Zusammenhang kann es besonders vorteilhaft sein, wenn die Rückführstufe Leitschaufeln aufweist. Diese Leitschaufeln können besonders zweckmäßig nach der Erfindung Mündungsöffnungen der Einspritzeinrichtung als Bestandteil der Leitschaufeln aufweisen. Alternativ oder zusätzlich können diese Mündungsöffnungen der Einspritzvorrichtung in Umfangsrichtung zwischen den Leitschaufeln angeordnet sein. Wenn die Mündungsöffnungen an der Leitschaufel selbst angeordnet sind, kann es besonders zweckmäßig sein, wenn diese an einer Druckseite der Leitschaufeln oder an einer Saugseite der Leitschaufeln oder an einer Hinterkante des Schaufelprofils der Leitschaufeln angeordnet sind. Für eine möglichst geringfügige, ggf. ungewollte Beeinflussung der Strömung, kann es zweckmäßig sein, die Mündungsöffnungen der Einspritzvorrichtung als Flachstrahldüsen auszubilden. Weiterhin kann eine möglichst geringfügige Beeinflussung des Strömungsbildes dadurch erreicht werden, wenn zusätzlich oder alternativ zu der Flachstrahlausführung die Mündungsöffnungen der Einspritzvorrichtung jeweils in einer Mulde oder Ausnehmung in der Oberfläche des jeweiligen Anordnungsortes der Mündungsöffnung vorgesehen sind. Die Mündungsöffnungen können gemäß einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung auch an einer Begrenzungskontur eines Ringraums einer Rückführstufe angeordnet sein. Unter einer Begrenzungskontur wird hierbei die Oberfläche stehender Strömungsleitelemente aufgefasst. Insbesondere handelt es sich hierbei um die äußere Begrenzungskontur und die innere Begrenzungskontur (außen und innen bezogen auf den jeweilig größeren bzw. kleineren Abstand zu einer Rotationsachse der Turbomaschine) begrenzen hierbei den inneren Strömungspfad im Bereich einer Rückführstufe bzw. zwischen zwei rotierenden Strömungsleitelementen, die auch als Laufräder oder Impeller bezeichnet werden können.

**[0015]** Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass an einem Tiefpunkt des inneren Strömungspfad ein Sammler und/oder ein Abfluss zur Zwischenspeicherung und/oder Abfuhr von abgeschiedener Flüssigkeit vorgesehen sind/ist. Bei der abgeschiedenen Flüssigkeit kann es sich insbesondere um nicht verdampftes flüssiges Prozessfluid aus einer Einspritzvorrichtung handeln. Diese Ausführung dient im Wesentlichen dazu, den Weitertransport von Flüssigkeit, insbesondere durch rotierende Strömungsleitelemente

hindurch, zu verhindern, so dass Beschädigungen an stromabwärtigen Komponenten vermieden werden können.

**[0016]** Das erfindungsgemäße Verfahren sieht vor, dass dem Turboverdichter gasförmiges Prozessfluid zugeleitet wird und eine Verdichtung des gasförmigen Prozessfluids mittels des Turboverdichters unter Einspritzung von einer Zuströmung flüssigen Prozessfluids in einen Hauptströmungspfad im Inneren eines Gehäuses des Turboverdichters erfolgt. Auf diese Weise können Rohrleitungen, Behälter eingespart werden und eine derartig effiziente Abkühlung des Prozessfluids während des Verdichtungsprozesses im Turboverdichter erhöht zweckmäßig den Wirkungsgrad. Aufgrund der eingesparten Strömungsstrecken, die herkömmlich das Prozessfluid durch andere Kühlvorrichtungen zurücklegen würde, sinkt auch der Strömungsverlust der gesamten Anordnung.

**[0017]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass eine Temperatur des gasförmigen Prozessfluids vor oder nach dem Eintritt in den Turboverdichter gemessen wird und eine Regelung der Menge des Zustroms des einzuspritzenden flüssigen Prozessfluids in Abhängigkeit von der gemessenen Temperatur erfolgt. Die Messung der Temperatur kann sowohl vor als auch nach dem Eintritt in den Turboverdichter erfolgen und beide Temperaturmesswerte können einer entsprechenden Regelung zur Steuerung des Zustroms zugrundegelegt werden.

**[0018]** Im Folgenden ist ein spezielles Ausführungsbeispiel der Erfindung unter Bezugnahme auf Zeichnungen zur Verdeutlichung näher beschrieben. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Turboverdichters zusammen mit einem Flussdiagramm, das das erfindungsgemäße Verfahren illustriert,

Figur 2 eine schematische Darstellung eines Flussdiagramms für eine erfindungsgemäße Verdichteranordnung bzw. ein erfindungsgemäßes Verfahren,

Figur 3 zeigt einen Schnitt durch einen Turboverdichter einer Verdichteranordnung im Bereich einer Rückführstufe mit einer Einspritzvorrichtung im Bereich von Leitschaufeln im Querschnitt,

Figur 4 die Anordnung von Figur 3 in einem Längsschnitt,

Figur 5 ein Detail eines Turboverdichters einer erfindungsgemäßen Verdichteranordnung für ein erfindungsgemäßes Verfahren in einem Längsschnitt, bei dem eine erfindungsgemäße Einspritzvorrichtung an einer Begrenzungskontur einer Rückführstufe vorgesehen

ist,

Figur 6 eine axiale Sicht auf ein in der Figur 5 ausgewiesenes Detail,

Figur 7 ein Detail eines Turboverdichters einer erfindungsgemäßen Verdichteranordnung in einem Längsschnitt, bei dem eine Einspritzvorrichtung an der Hinterkante einer Leitschaufel in einer Rückführstufe vorgesehen ist,

Figur 8 die Anordnung der Figur 7 im Querschnitt, und

Figur 9 einen quergeschnittenen Turboverdichter einer erfindungsgemäßen Verdichteranordnung mit einem Sammler für flüssiges Prozessfluid.

**[0019]** Figur 1 zeigt schematisch vereinfacht ausschnittsweise einen erfindungsgemäßen Turboverdichter TCP, zusammen mit einer vereinfachten Darstellung eines Systemplans, der das Zusammenwirken des Turboverdichters TCP mit anderen Modulen zeigt im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Verflüssigung eines gasförmigen Prozessfluids PFL, insbesondere von Erdgas NGS. Das Prozessfluids PFL durchströmt die Anordnung entlang eines Strömungspfades GPT.

**[0020]** Der Turboverdichter TCP umfasst einen Rotor ROT mit rotierenden Strömungsleitelementen RFG, der sich entlang einer Achse X erstreckt. Im Wesentlichen um die Achse X drehbaren Rotor ROT umgebend, umfasst der Turboverdichter TCP ein Gehäuse CAS. In dem Gehäuse sind unter anderem statische Strömungsleitelemente SFG angeordnet, die gemeinsam mit den rotierbaren Strömungsleitelementen RFG einen Hauptströmungspfad MPT des Strömungspfades GPT definieren. Eingangs des Turboverdichters TCP umfassen die stehenden Strömungsleitelemente SFG auch einen Ansaugflansch SFL, wobei der Strömungspfad einen Ansaugkanal SCH stromaufwärts des Ansaugflanschs SFL aufweist. Das Prozessfluid PFL tritt in den Turboverdichter TCP durch den Ansaugflansch SFL entlang einer Strömungsrichtung FTD ein und wird entlang des Hauptströmungspfades MPT abwechselnd durch statische Strömungsleitelemente SFG und rotierende Strömungsleitelemente RFG geführt bis zu einem Sammelraum COL und anschließend mittels eines Austrittsflansches EFL auf dem Turboverdichter TCP heraus. Der Turboverdichter TCP ist als Radialturboverdichter ausgebildet und weist dementsprechend von axial nach radial umlenkende Laufräder IMP auf. An die rotierenden Laufräder IMP schließt sich jeweils in Richtung der Strömungsrichtung FTD entlang des Hauptströmungspfades MPT eine Rückführstufe RFS an, die jeweils zwischen zwei Laufrädern IMP vorgesehen ist. Hinter dem letzten Laufrad IMP ist - statt einer Rückführstufe RFS - ein Sammler CLL angeordnet, bevor das Prozessfluid PFL den Tur-

boverdichter TCP durch den Austrittsflansch EFL verlässt. In einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Verflüssigung von gasförmigem Prozessfluid PFL ist der erfindungsgemäße Turboverdichter TCP beispielsweise gemäß Figur 1 in einem Verfahren integraler Bestandteil. In einem Behälter TNK wird flüssiges Prozessfluid PFL, hier flüssiges Erdgas NGS gelagert. Unter dem Einfluss der höheren Außentemperatur verdampfen Teile dieses Prozessfluids PFL und verlassen den Behälter TNK als sogenanntes Boil-Off-Gas BOG. Dieses gasförmige Prozessfluid PFL wird von dem Turboverdichter TCO angesaugt, wobei mittels einer ersten Temperaturmessstelle TPF1, TPF die Temperatur der Zuströmung festgestellt wird. Hinter dem Austrittsflansch EFL des Turboverdichters TCP wird die Temperatur mittels einer zweiten Temperaturmessstelle TPF2, TPF ebenfalls gemessen. Das derart verdichtete Prozessfluid PFL wird einem Kühler COL zur Anfuhr von Wärmeenergie Q zugeführt. Das abgekühlte Prozessfluid PFL erreicht anschließend einen Expansionsbehälter EDR, in dem eine flüssige Phase des Prozessfluids PFL als flüssiges Prozessfluid PFL ausfällt. Ein Teil des in dem Expansionsbehälter EDR einströmenden Prozessfluids PFL verlässt den Expansionsbehälter EDR als gasförmiges Prozessfluid GPFL und wird optional weiteren Behandlungen unterzogen. Das flüssige Prozessfluid PFL wird mittels einer Pumpe PMP zurück in den Behälter TNK befördert. Im Bereich der Einströmung bzw. des Ansaugflansches SFL und im Bereich von Zwischenpositionen IPS zwischen den einzelnen Laufrädern IMP bzw. zwischen den einzelnen rotierenden Strömungselementen RFG weist der Turboverdichter TCP Einspritzvorrichtungen INJ auf, die der Einspritzung von flüssigem Prozessfluid PFL dienen. Das Prozessfluid PFL wird mittels der Einspritzvorrichtungen INJ in flüssiger Phase direkt in den Strömungspfad GPT eingespritzt ohne besondere weitere Vorkehrung, wie einen gesonderten Mischbehälter oder ähnliches.

**[0021]** Hierzu besteht die Einspritzvorrichtung INJ aus mindestens einer Düse NZL und mindestens einer Zuleitung CCH.

**[0022]** Diese Einspritzvorrichtungen sind im Bereich ihrer Einmündung in den Hauptströmungspfad MPT des Turboverdichters TCP als Drossel bzw. Düse ausgebildet, so dass dort ein Druckverlust unter Entspannung des Prozessfluids PFL aus der Einspritzvorrichtung entsteht. Der damit verursachte Joule-Thomson-Effekt sorgt für eine von der Art des Prozessfluids PFL abhängige Abkühlung in dem Turboverdichter TCP. Die Menge der Zuströmung COS des Prozessfluids PFL mittels der Einspritzvorrichtung INJ wird insgesamt mittels eines Regelungsventils CVV gesteuert, wobei eine zentrale Regelung CTL die Stellung des Regelungsventils CVV in Abhängigkeit von den Temperaturmessungen an den Temperaturmessstellen TPF1, TPF2, TPF steuert. Alternativ kann die Regelung der Stellung des Regelungsventils CVV auch auf Basis nur einer einzigen Temperaturmessung TPF erfolgen, die vor oder nach der Verdichtung

des Prozessfluids PFL mittels des Turboverdichters TCP stattfinden kann. In dem Beispiel der Figur 2 sind außerdem noch Messstellen für Druck P und Massenstrom F vorgesehen, die vorteilhaft einer Unterstützung der Regelung CTL dienen können.

**[0023]** Die Darstellung der Figur 2 zeigt schematisch ein Flussdiagramm einer erfindungsgemäßen Verdichteranordnung CPA mit zwei Turboverdichtern TCP zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Entlang eines Wellenstrangs sind die beiden Turboverdichter TCP angeordnet und werden von einem Antrieb M angetrieben. Ein Turboverdichter TCP ist einflutig mit einem Eintrittsleitapparat IGV ausgerüstet und der andere Turboverdichter TCP ist zweiflutig ausgebildet, wobei in dem Ausführungsbeispiel das Prozessfluid PFL aus einem nicht dargestellten Behälter TNK als Boil-Off-Gas BOG den Eintrittsleitapparat IGV durchströmend zunächst den einflutigen Turboverdichter TCP entlang eines inneren Strömungspfad PTI durchströmt und anschließend eine erste Flut des zweiflutigen Turboverdichters TCP (linke Seite) und anschließend die zweite Flut des zweiflutigen Turboverdichters TCP durchströmt, um anschließend weiteren Prozessschritten APS in nicht dargestellter Weise unterzogen zu werden. Eine Rezirkulationsleitung BYP mit einem Pumpgrenzregelventil ASV ist vor der Zuführung zu den anderen Prozessschritten APS als Nebenströmungspfad SPT zu dem Hauptströmungspfad durch die Turboverdichter TCP vorgesehen, um im Falle der Öffnung des Pumpgrenzregelventils ASV zumindest einen Teil des Prozessfluids PFL zurück zum Einlass des ersten einflutigen Turboverdichters TCP zu leiten. Grundsätzlich kann zu einem beliebigen Hauptströmungspfad zur Verdichtung des Prozessfluids PFL ein entsprechender Nebenströmungspfad SPT als Rezirkulationsleitung BYP vorgesehen werden. Die beiden Turboverdichter TCP weisen jeweils ein Gehäuse CAS auf, das einen inneren Strömungspfad PTI umschließt und bzw. als äußere Grenze definiert. Der eigentliche innere Strömungspfad PTI ist durch stehende Strömungselemente SFG definiert und rotierende Strömungselemente RFG. Die Figur 2 zeigt eine erfindungsgemäße Einspritzvorrichtung INJ sowohl zu dem einflutigen stromabwärtigen Turboverdichter TCP als auch vor der Zuführung des Prozessfluids PFL zu dem stromabwärtigen Turboverdichter TCP in dem Ansaugkanal (SCH) einspritzend angeordnet und/oder in dem Ansaugflansch SFL als auch im Bereich des Nebenströmungspfad SPT bzw. in der Rezirkulationsleitung BYP. Vorteilhaft ist hier die Einspritzvorrichtung INJ in der Rezirkulationsleitung BYP hinter dem Pumpgrenzregelventil ASV vorgesehen. Die Zuströmung von flüssigen Prozessfluid PFL ist mittels Regelventilen CVV geregelt. Weiterhin ist stromabwärts der Einspritzvorrichtungen INJ in den Leitungen für das flüssige Prozessfluid jeweils eine Vorrichtung BOS zur Anpassung des Drucks vorgesehen, damit das flüssige Prozessfluid PFL auch in den jeweiligen Strömungspfad effizient eingespritzt werden kann mit dem erforderlichen Druck. Die Einspritzvor-

richtung INJ vor dem Eintritt in den Eintrittsleitapparat IGV des einflutigen stromabwärtigen Turboverdichters TCP kann beispielsweise 7bar betragen und der Druck für die Einspritzvorrichtungen INJ in dem einflutigen Turboverdichter TCP kann 70bar betragen. Vergleichbar mit dem Beispiel der Figur 1 ist auch in der Figur 2 gezeigt, dass die Menge der Zuströmung COS des Prozessfluids PFL mittels der Einspritzvorrichtung INJ insgesamt mittels eines Regelungsventils CVV gesteuert, wobei eine zentrale Regelung CTL die Stellung der Regelungsventile CVV in Abhängigkeit von den Temperaturmessungen an den Temperaturmessstellen TPF1, TPF2, TPF steuert.

**[0024]** Die Figuren 3, 4, 5, 6, 7 und 8 zeigen jeweils unterschiedliche Ausbildungen von Einspritzvorrichtungen INJ, die Prozessfluid PFL in den inneren Strömungspfad PTI einspritzen. Die Figuren 3 und 4 zeigen hierbei eine Einspritzvorrichtung INJ, die Mündungsöffnungen ORF im Bereich von Druckseiten PRS von Leitschaufeln VNS einer Rückführstufe RST im Bereich einer Zwischenposition IPS zwischen zwei benachbarten rotierenden Strömungselementen RFG aufweisen. Die Leitschaufeln VNS verfügen hierbei jeweils über eine Druckseite PRS und eine Saugseite SCS, eine Eintrittskante LDE und eine Austrittskante TRE. In der Figur 4 ist gezeigt, wie mittels eines Zuführkanals SCH, der sich in Umfangsrichtung um die Drehachse X erstreckt den einzelnen Leitschaufeln VNS mittels eines individuellen Kanals ICH, der sich in axialer Richtung entlang der Achse X erstreckt, das flüssige Prozessfluid PFL zugeführt wird. Zusätzlich oder alternativ kann, wie in Figur 6 dargestellt, das flüssige Prozessfluid PFL mittels einer Mündungsöffnung ORF, bevorzugt angeordnet in einer Mulde RZS in der Oberfläche einer Begrenzungskontur LCT des Ringraums der Rückführstufe RST zugeführt werden. Besonders bevorzugt ist die Mündungsöffnung ORF als eine Flachstrahldüse FJO ausgebildet, so dass eine nur geringfügige Veränderung des Strömungsbildes durch die Einspritzung erfolgt. Eine derartige Einspritzung im Bereich der Begrenzungskontur LCT kann sowohl zwischen den Leitschaufeln VNS in den durch die Leitschaufeln VNS in Umfangsrichtung begrenzten Strömungskanälen erfolgen, als auch stromaufwärts oder stromabwärts. Gleichfalls kann eine Anordnung derartiger Einspritzvorrichtungen sowohl an der radial äußeren Begrenzungskontur LCT als auch an der radial inneren Begrenzungskontur LCT des inneren Strömungspfad PTI stattfinden.

**[0025]** Eine andere Möglichkeit die Einspritzvorrichtung INJ an den Leitschaufeln VNS anzuordnen liegt darin, die Einspritzöffnungen ORF an der Hinterkante TRE der Leitschaufeln VNS vorzusehen, wie in den Figuren 7 und 8 dargestellt.

**[0026]** Figur 9 zeigt einen Turboverdichter TCP einer erfindungsgemäßen Verdichteranordnung mit einem Gehäuse CAS in einem Querschnitt unter Darstellung eines kurzen Ausschnittes des inneren Strömungspfad PTI. An einem Tiefpunkt LWP des inneren Strö-

mungspfad PTI ist ein Sammler CLL und ein Abfluss DRN angeordnet zur Zwischenspeicherung bzw. zur Abfuhr abgeschiedener Flüssigkeit. Der Abfluss DRN ist vorteilhaft mit einem Ort niedrigeren Druckniveaus verbunden, wobei bevorzugt ein Abflussregelventil VCL diese Verbindung nur bei Bedarf herstellt. Dieser Bedarf kann entweder automatisch festgestellt werden, beispielsweise mittels einer messtechnischen Detektion einer hinreichenden Menge an Flüssigkeit in dem Sammler CLL oder ein Schauglas GGL kann dem Bedienpersonal das Vorliegen einer entsprechenden Flüssigkeitsmenge anzuzeigen, die das Abflussregelventil VCL bei Bedarf dann manuell öffnen, so dass die ausgefallene Flüssigkeit an einen Ort mit niedrigerem Druckniveau abgesaugt werden kann.

### Patentansprüche

1. Verdichteranordnung (CPA) mit mindestens einem Turboverdichter (TCP) zur Verdichtung eines Prozessfluids (PFL), wobei die Verdichteranordnung (CPA) einen Strömungspfad (GPT) des Prozessfluids (PFL) aufweist,
 

**dadurch gekennzeichnet, dass**

 der Strömungspfad (GPT) mindestens eine Einspritzvorrichtung (INJ) aufweist, die ausgebildet ist, das Prozessfluid (PFL) in flüssiger Phase direkt in den Strömungspfad (GPT) einzuspritzen.
2. Verdichteranordnung (CPA) nach Anspruch 1, wobei die Einspritzvorrichtung (INJ) aus mindestens einer Düse (NZL) und mindestens einer Zuleitung (CCH) besteht.
3. Verdichteranordnung (CPA) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Strömungspfad (GPT) einen Hauptströmungspfad (MPT) entlang dessen dem Prozessfluid (PFL) eine Druckerhöhung aufgeprägt wird, aufweist, der einen inneren Strömungspfad (PTI) aufweist, wobei der mindestens eine Turboverdichter (TCP) ein Gehäuse (CAS) aufweist, wobei in dem Gehäuse (CAS) rotierbare Strömungselemente (RFG) eines Rotors (ROT) des Turboverdichters (TCP) entlang des durch statische Strömungselemente (SFG) begrenzten inneren Strömungspfad (PTI) angeordnet sind, wobei der innere Strömungspfad (PTI) umfassend die rotierbaren Strömungselemente (RFG) und statischen Strömungselemente (SFG) zur Verdichtung des gasförmigen Prozessfluids (PFL) ausgebildet ist.
4. Verdichteranordnung (CPA) nach Anspruch 3, wobei die mindestens eine Einspritzvorrichtung (INJ) in dem inneren Strömungspfad (PTI) einspritzend angeordnet ist.

5. Verdichteranordnung (CPA) nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, wobei die Verdichteranordnung (CPA) eine Rezirkulationsleitung (BYP) aufweist, die eine erste Position des Hauptströmungspfad (MPT) mit einem höheren Druckniveau mit einer zweiten Position des Hauptströmungspfad (MPT) mit einem niedrigerem Druckniveau einen Nebenströmungspfad (SPT) bildend fluidleitend verbindet, wobei die mindestens eine Einspritzvorrichtung (INJ) in dem Nebenströmungspfad (SPT) einspritzend angeordnet ist.
6. Verdichteranordnung (CPA) nach Anspruch 4, wobei das Gehäuse (CAS) des mindestens einen Turboverdichters (TCP) einen Ansaugflansch (SFL) und einen Austrittsflansch (EFL) aufweist, die den statischen Strömungselementen (SFG) des Turboverdichters (TCP) zugehören, wobei entlang einer Durchströmungsrichtung (FTD) der Ansaugflansch (SFL) den Beginn des inneren Strömungspfad (PTI) und der Austrittsflansch (EFL) das Ende des inneren Strömungspfad (PTI) für den mindestens einen Turboverdichter (TCP) bilden, wobei die mindestens eine Einspritzvorrichtung (INJ) zwischen dem Ansaugflansch (SFL) und dem Austrittsflansch (EFL) einspritzend angeordnet ist.
7. Verdichteranordnung (CPA) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der innere Strömungspfad (PTI) entlang einer Durchströmungsrichtung (FTD) an mindestens einer Zwischenposition (IPS) zwischen zwei Abschnitten mit rotierbaren Strömungselementen (RFG) einen Bereich ohne rotierbare Strömungselemente (RFG) aufweist und dort mindestens eine Einspritzvorrichtung (INJ) aufweist.
8. Verdichteranordnung (CPA) nach Anspruch 3, wobei die mindestens eine Turboverdichter (TCP) als ein Radialverdichter (RCP) ausgebildet ist und die mindestens eine Zwischenposition (IPS) als Rückführstufe (RST) ausgebildet ist.
9. Verdichteranordnung (CPA) nach Anspruch 4, wobei die Rückführstufe (RST) Leitschaufeln (VNS) aufweist, und Mündungsöffnungen (ORF) der Einspritzvorrichtung (INJ) als Bestandteil der Leitschaufeln (VNS) ausgebildet sind oder die Mündungsöffnungen (ORF) der Einspritzvorrichtung (INJ) in Umfangsrichtung zwischen den Leitschaufeln (VNS) angeordnet sind.
10. Verdichteranordnung (CPA) nach Anspruch 5, wobei die Mündungsöffnungen (ORF) an einer Druckseite (PRS) der Leitschaufeln (VNS) und/oder einer Saugseite (SCS) der Leitschaufeln (VNS) und/oder an einer Hinterkante (TRE) des Schaufelprofils (VNP) der Leitschaufeln (VNS) angeordnet sind.
11. Verdichteranordnung (CPA) nach einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei Mündungsöffnungen (ORF) der Einspritzvorrichtung (INJ) als Flachstrahldüsen (FJO) ausgebildet sind.
12. Verdichteranordnung (CPA) nach einem der Ansprüche 3 bis 7, wobei Mündungsöffnungen (ORF) der Einspritzvorrichtung (INJ) jeweils in einer Mulde (RZS) angeordnet sind.
13. Verdichteranordnung (CPA) nach einem der Ansprüche 3 bis 8, wobei die Mündungsöffnungen (ORF) der Einspritzvorrichtung (INJ) an einer Begrenzungskontur (LCT) eines Ringraums einer Rückführstufe (RST) angeordnet sind.
14. Verdichteranordnung (CPA) nach Anspruch 4, wobei an einem Tiefpunkt (LWP) des inneren Strömungspfad (PTI) ein Sammler (CLL) und/oder ein Abfluss (DRN) zur Zwischenspeicherung und/oder Abfuhr von abgeschiedener Flüssigkeit vorgesehen sind/ist.
15. Verdichteranordnung (CPA) nach mindestens dem vorhergehenden Anspruch 5, wobei der Strömungspfad einen Ansaugkanal (SCH) stromaufwärts des Ansaugflanschs (SFL) aufweist und die Einspritzvorrichtung (INJ) in den Ansaugkanal (SCH) einspritzend angeordnet ist.
16. Verfahren zur Verflüssigung von einem gasförmigen Prozessfluid (PFL), insbesondere von Erdgas (NGS), mittels einer Verflüssigungsanlage (LFP), wobei die Verflüssigungsanlage (LFP) umfasst:
- einen Behälter (TNK) für flüssiges Prozessfluid (PFL),
  - eine Verdichteranordnung (CPA) gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 15,
- gekennzeichnet durch** die Schritte:
- Zuleitung von gasförmigem Prozessfluid (PFL) zu der Verdichteranordnung (CPA),
  - Verdichtung des gasförmigen Prozessfluids (PFL) mittels der Verdichteranordnung (CPA) unter Einspritzung von einer Zuströmung (COS) flüssigen Prozessfluids (PFL) in den inneren Strömungspfad (PTI) oder den Nebenströmungspfad (SPT) der Verdichteranordnung (CPA).

17. Verfahren nach Anspruch 16,  
wobei das Verfahren die weiteren Schritte umfasst:

- Messung der Temperatur (TPF) des gasförmigen Prozessfluids (PFL) vor oder nach dem Eintritt in den Turboverdichter (TCP), 5
- Regelung der Menge des Zustroms (COS) in Abhängigkeit von der gemessenen Temperatur (TPF). 10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

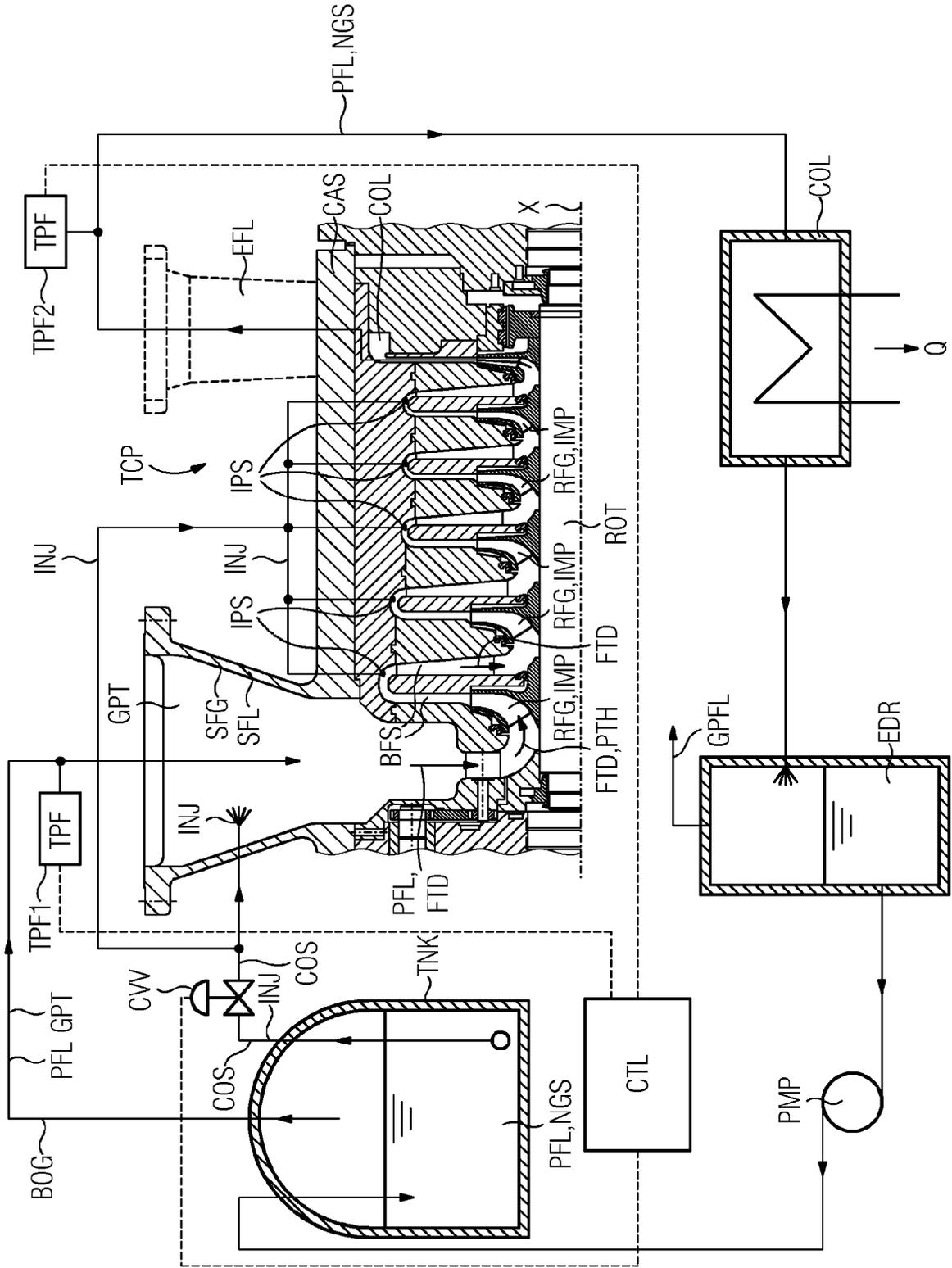


FIG 2

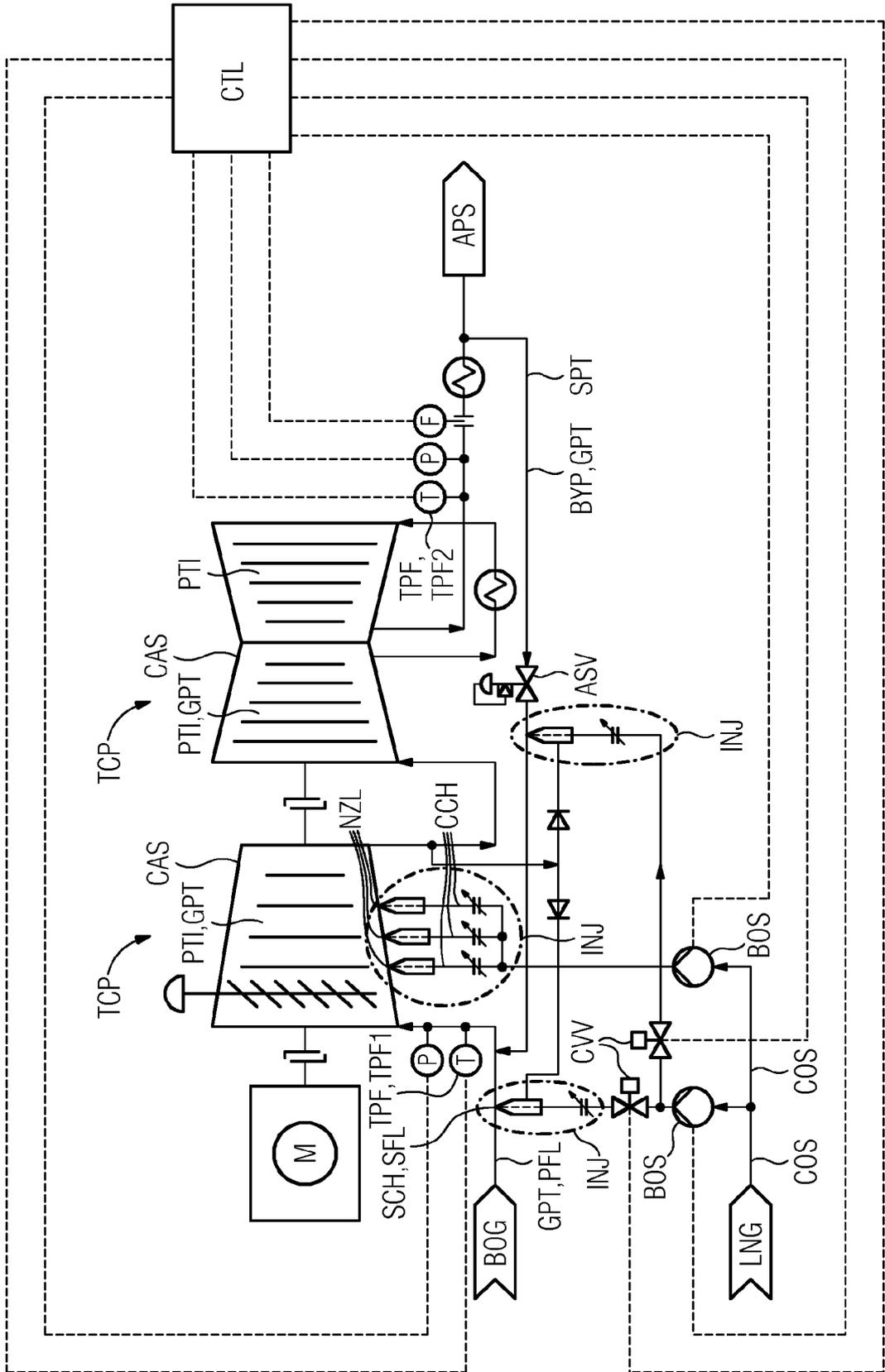


FIG 3

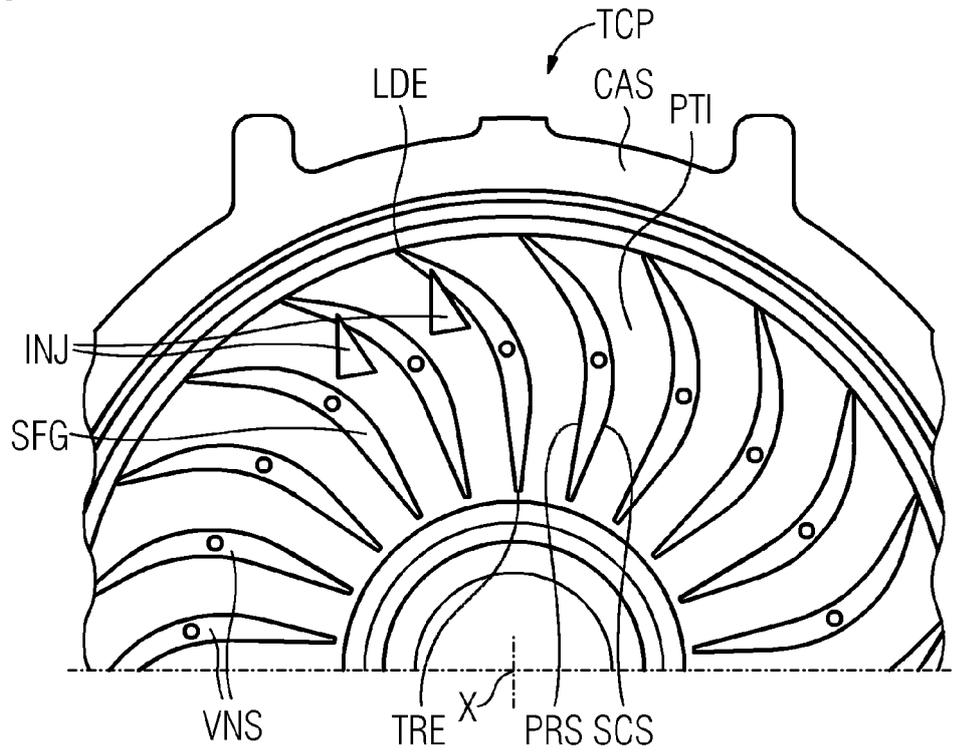


FIG 4

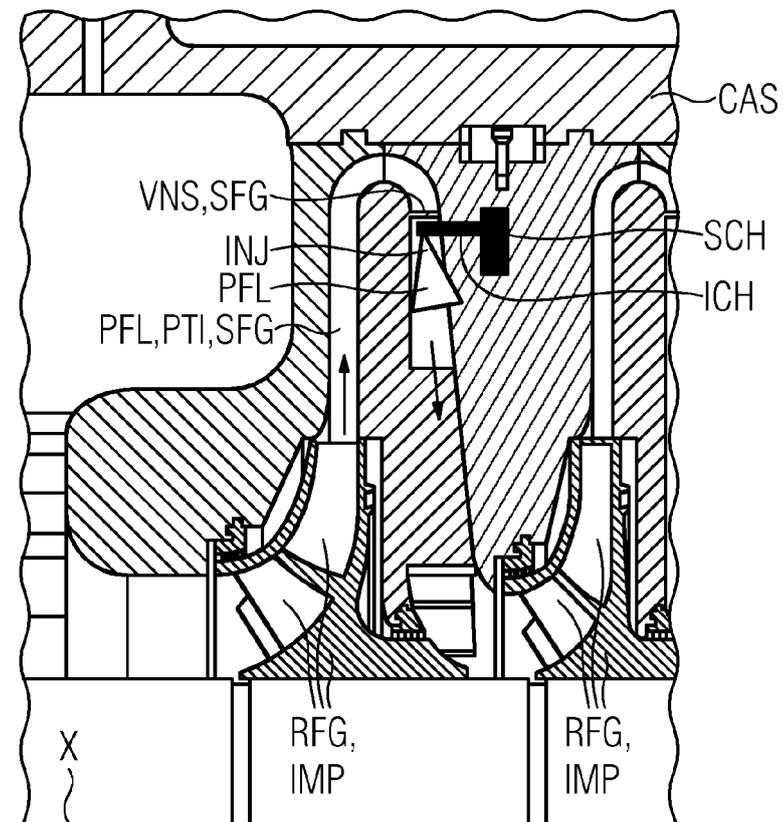


FIG 5

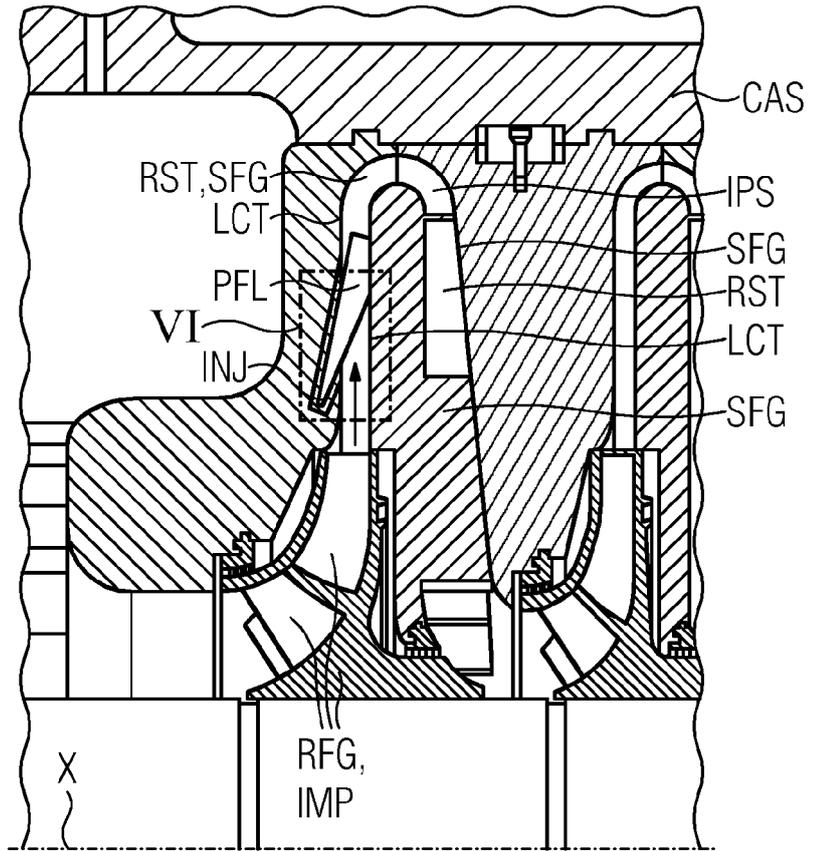


FIG 6

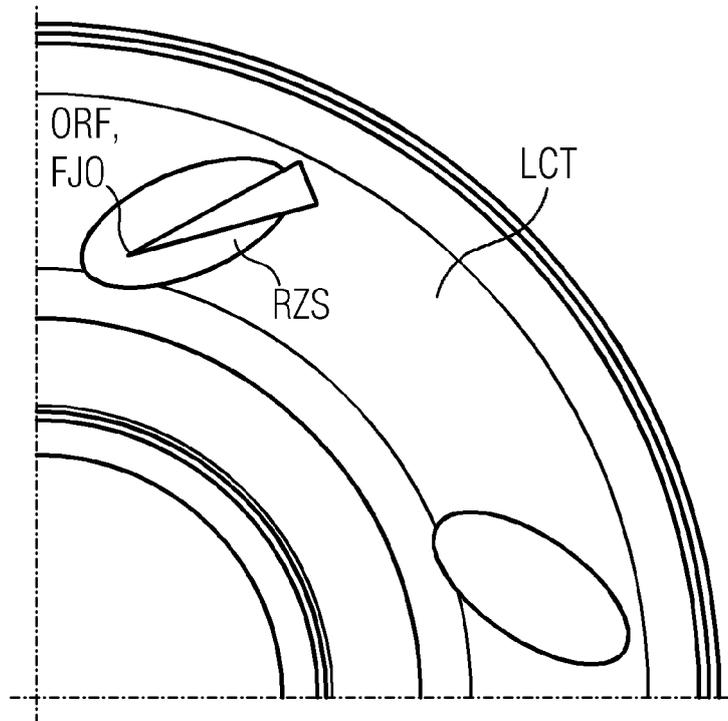


FIG 7

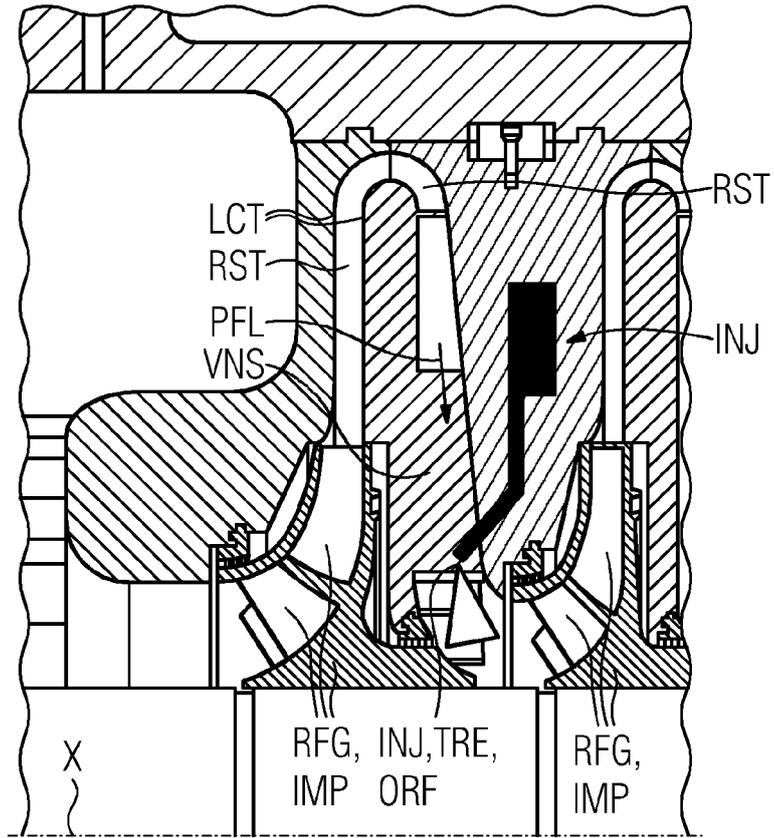


FIG 8

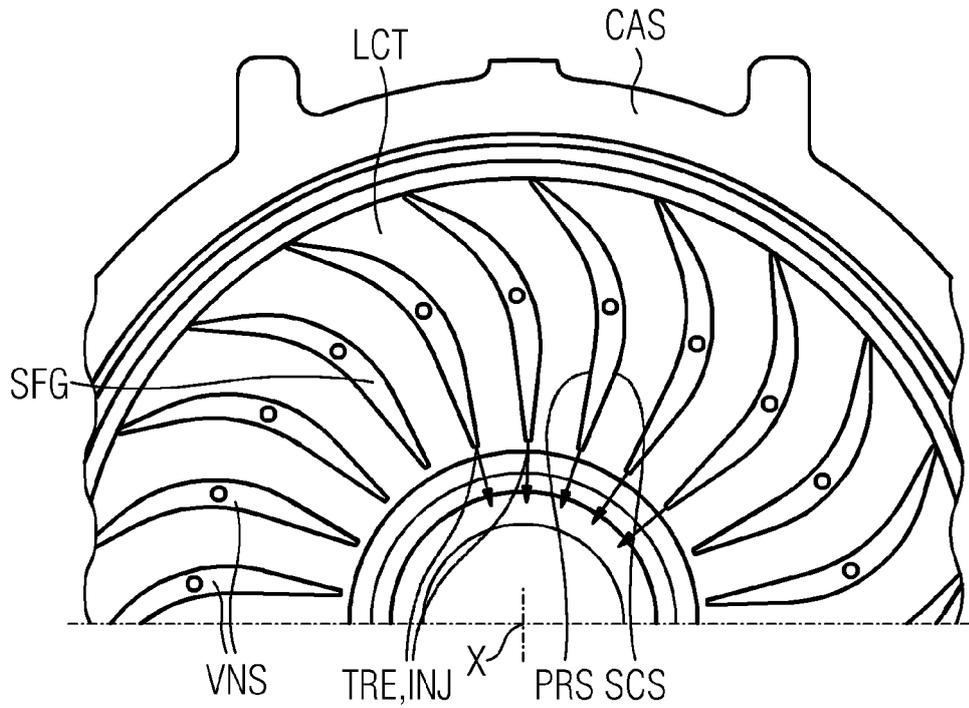
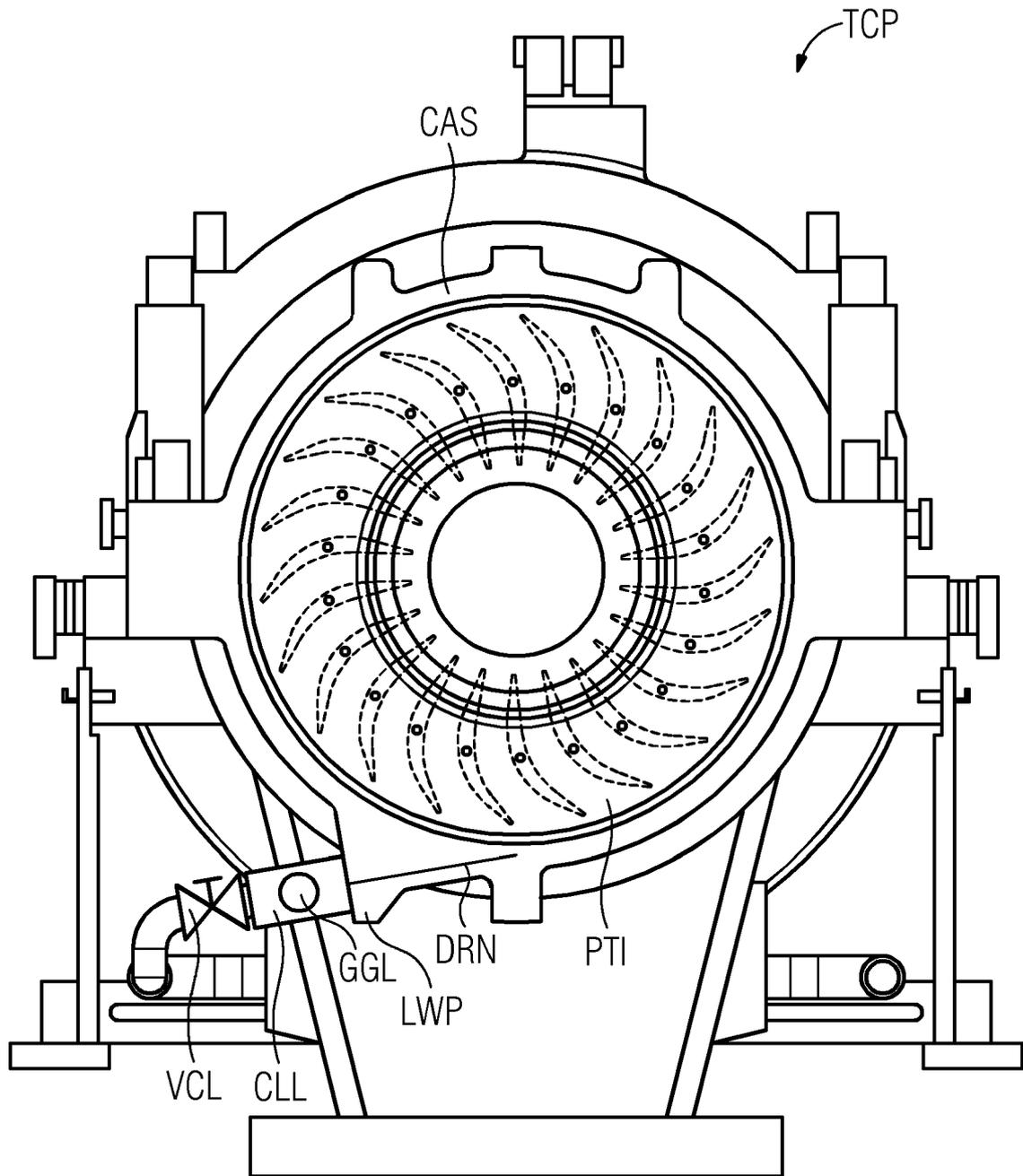


FIG 9





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 17 18 5707

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)
X	WO 2005/068847 A1 (CRYOSTAR FRANCE SA [FR]; POZIVIL JOSEF [FR]; GERSTENDOERFER HELMUT [CH] 28. Juli 2005 (2005-07-28) * Abbildung 2 * * Seite 5, Zeilen 15-24 * * Seite 8, Zeile 11 - Seite 9, Zeile 4 * * Seite 10, Zeilen 20-30 *	1-4,6-8, 13-17	INV. F04D29/70 F25J1/00 F04D27/02 F04D29/58 F17C1/00
X	JP 2000 120595 A (HITACHI LTD) 25. April 2000 (2000-04-25)	1-4,6-8, 12,13	
Y	* Zusammenfassung; Abbildungen 1-6 *	9-11	
X	DE 11 2006 001149 T5 (VAST POWER PORTFOLIO LLC [US]) 15. Mai 2008 (2008-05-15)	1-4,7	
Y	* Abbildungen 1-7 * * Absatz [0159]; Abbildungen 1-7 *	9-11	
X	GB 580 458 A (ESCHER WYSS MASCHF AG) 9. September 1946 (1946-09-09) * Seite 2, Zeilen 68-81; Abbildung 4 *	1-3,5,16	
X	DE 332 846 C (ESCHER WYSS MASCHF AG) 11. Februar 1921 (1921-02-11) * Abbildung 2 *	1-4,6-8, 13,14,16	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F04D F25J F17C
X	US 2 786 626 A (REDCAY AARON K) 26. März 1957 (1957-03-26) * Abbildung 1 *	1-4,6-8, 13-15	
X	JP 2009 221966 A (TOKYO ELECTRIC POWER CO; KAWASAKI HEAVY IND LTD) 1. Oktober 2009 (2009-10-01) * Zusammenfassung; Abbildungen 5B, 5C, 9, 14-17, 19 *	1-4,6-9, 11,13,14	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>Den Haag</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>7. Februar 2018</b>	Prüfer <b>Brouillet, Bernard</b>
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 17 18 5707

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.

07-02-2018

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2005068847 A1	28-07-2005	AT 469305 T	15-06-2010
		CN 1910370 A	07-02-2007
		EP 1706646 A1	04-10-2006
		JP 2007518017 A	05-07-2007
		KR 20070035474 A	30-03-2007
		US 2008008602 A1	10-01-2008
		WO 2005068847 A1	28-07-2005
-----			
JP 2000120595 A	25-04-2000	JP 3873481 B2	24-01-2007
		JP 2000120595 A	25-04-2000
-----			
DE 112006001149 T5	15-05-2008	CA 2606756 A1	09-11-2006
		CA 2823766 A1	09-11-2006
		DE 112006001149 T5	15-05-2008
		US 2008247885 A1	09-10-2008
		US 2012298215 A1	29-11-2012
WO 2006119409 A2	09-11-2006		
-----			
GB 580458 A	09-09-1946	KEINE	
-----			
DE 332846 C	11-02-1921	KEINE	
-----			
US 2786626 A	26-03-1957	KEINE	
-----			
JP 2009221966 A	01-10-2009	JP 5119017 B2	16-01-2013
		JP 2009221966 A	01-10-2009
-----			

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**

- WO 2016020282 A [0002]
- WO 2007137959 A [0003]