



(11)

EP 4 390 279 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
26.06.2024 Patentblatt 2024/26

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F25J 1/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **22020624.7**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
**F25J 1/0248; F25J 1/0022; F25J 1/0279;
F25J 1/0298; F25J 2230/30; F25J 2230/32**

(22) Anmeldetag: **22.12.2022**

(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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Linde GmbH
82049 Pullach (DE)**

(72) Erfinder:
• **Bub, Andreas
82049 Pullach (DE)**
• **Dick, Alexander
82049 Pullach (DE)**

(74) Vertreter: **Zahn, Christoph
Linde GmbH
Intellectual Property EMEA
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14
82049 Pullach (DE)**

(54) **VERFAHREN ZUM ANWÄRMEN EINER KALTEN ANLAGE**

(57) Es wird ein Verfahren zum Anwärmen einer kalten Anlage (200, 300, 400, 500) vorgeschlagen, wobei ein Verdichter (CS, CP, C1) zum Verdichten eines Anwärmfluids (3) betrieben wird, wobei sich das Anwärmfluid (3) bei dem Verdichten auf ein erstes Temperaturniveau erwärmt, wobei das verdichtete und erwärmte Anwärmfluid (3) zumindest zu einem ersten Anteil einer zu erwärmenden Anlagenkomponente (K, E1) zugeführt

wird und dort unter Wärmeübertragung auf die zu erwärmende Anlagenkomponente (K, E1) auf ein zweites Temperaturniveau abgekühlt wird, und wobei das abgekühlte Anwärmfluid (3) stromab der zu erwärmenden Anlagenkomponente (K, E1) zu dem Verdichter (CS, CP, C1) zurückgeführt wird, um erneut verdichtet zu werden. Ferner wird eine Anlage (200, 300, 400, 500) zur Durchführung eines derartigen Verfahrens vorgeschlagen.

EP 4 390 279 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Anwärmen einer kalten Anlage, die zumindest einen Verdichter umfasst.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Anlagen wie Erdgas-, Luftzerlegungs- und Heliumanlagen verwenden kryogene Temperaturen, um das oder die gewünschten Produkt mit den erforderlichen Spezifikationen zu erhalten. Viele Anlagenkomponenten, z.B. Wärmetauscher, Kolonnen, Behälter usw., werden in solchen Anlagen daher unterhalb der Umgebungstemperatur und insbesondere unterhalb von 0 °C betrieben.

[0003] Es gibt mehrere Szenarien, in denen das Anwärmen solcher kryogenen bzw. kalten Anlagenkomponenten erforderlich ist. Diese werden weiter unten erläutert. Zum Anwärmen der betroffenen Anlagenkomponenten kann Speisegas verwendet werden, also ein Stoffstrom, der unter normalen Betriebsbedingungen ebenfalls in der Anlage verarbeitet wird. Für den Anwärmprozess wird das Speisegas jedoch ggf. bei einer vom Normalbetrieb abweichenden Temperatur bereitgestellt. Dies wird ebenfalls unten insbesondere unter Bezugnahme auf eine Erdgasverflüssigungsanlage beschrieben, wobei die vorliegende Erfindung jedoch auch in anderen Anlagen einsetzbar ist und auch dort die entsprechenden Vorteile bietet.

[0004] Während des Normalbetriebs einer Erdgasverflüssigungsanlage wird typischerweise Speisegas in den kalten Teil der Anlage geleitet, wo es verarbeitet wird. In einer LNG-Anlage z.B. wird das Speisegas mit Hilfe eines Kältemittelkreislaufs verflüssigt und unterkühlt. Im Zuge der Entfernung von sogenannten Natural Gas Liquids (NGL) und Stickstoff (in einer sogenannten Nitrogen Rejection Unit, NRU) kann das Speisegas durch Druckreduzierung auf die Druckniveaus der Produkte in die gewünschten Fraktionen getrennt werden.

[0005] Ist ein Anwärmen erforderlich, wird in einem solchen herkömmlichen Verfahren trockenes Speisegas oder Regenerationsgas, das optional erwärmt wird, als

[0006] Anwärmgas verwendet, um die Apparate bzw. Anlagenkomponenten, die sich auf kalten Temperaturniveaus befinden, anzuwärmen. Das warme Anwärmgas wird dazu durch die verschiedenen Apparate geleitet und beim Anwärmen der Apparate abgekühlt. Das kalte Anwärmgas wird dann typischerweise in eine Fackel geleitet und verbrannt. Das Verfahren wird so lange durchgeführt, bis die betroffenen Anlagenteile auf das erforderliche Temperaturniveau erwärmt sind.

[0007] Stickstoff aus einem Versorgungsnetz kann ebenfalls zum Anwärmen verwendet werden, jedoch sind in der Regel die erforderlichen Gasmengen, die ein relativ schnelles Anwärmen ermöglichen, deutlich höher als die verfügbaren Durchflussmengen des Betriebsstoffes Stickstoff.

[0008] Es besteht ein Bedarf an verbesserten Möglichkeiten zum Anwärmen kalter, insbesondere kryogener, Anlagen und Anlagenkomponenten.

5 Offenbarung der Erfindung

[0009] Diese Aufgabe wird durch die vorliegende Erfindung gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche sowie dieser Beschreibung.

[0010] Die Erfindung bedient sich der Maßnahme, einen in der Anlage ohnehin befindlichen Verdichter zur Rückführung des Anwärmgases zu verwenden. Dazu kommen prinzipiell sämtliche verfügbaren Verdichter in Frage. Insbesondere können zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens Speiseverdichter (im Normalbetrieb der Anlage stromauf der anzuwärmenden Anlagenkomponente), Produktverdichter (im Normalbetrieb stromab der anzuwärmenden Anlagenkomponente) oder Kältemittelverdichter (im Normalbetrieb innerhalb eines Kreislaufs mit zu der anzuwärmenden Komponente verschaltet) verwendet werden.

[0011] Bevor die Erfindung im Einzelnen beschrieben wird, sollen hier noch einige dazu verwendete Begriffe erläutert werden.

[0012] Ist hier von einem Fluid die Rede, so ist damit ein Stoff oder Stoffgemisch gemeint, das sich im Wesentlichen aus Komponenten im flüssigen und/oder gasförmigen und/oder überkritischen Zustand zusammensetzt und insgesamt fließfähig ist. Das Fluid kann mehrere Phasen aufweisen, kann jedoch auch einphasig vorliegen.

[0013] Ist von einem Temperaturniveau die Rede, so ist damit eine Temperatur bezeichnet, die sich innerhalb eines gewissen Intervalls um einen bestimmten Wert, beispielsweise einen Mittelwert, herum befindet. In der Regel bezeichnet ein Temperaturniveau keine exakt einzustellende Temperatur. Beispielsweise kann ein Temperaturniveau Temperaturen umfassen, die um 5%, 10%, 30% oder 50% von einem bestimmten Wert abweichen. Benachbarte Temperaturniveaus können disjunkt sein, sich Grenzwerte teilen oder auch miteinander überlappen. Analoges gilt für "Druckniveaus".

[0014] Von einem "kalten" Temperaturniveau ist hier die Rede, wenn sich das Temperaturniveau überwiegend unterhalb von 0 °C befindet, ein "kryogenes" Temperaturniveau umfasst keine positiven Celsius-Temperaturen und befindet sich insbesondere unterhalb von -50 °C, -100 °C oder -150 °C. Beispielsweise kann ein kryogenes Temperaturniveau im Wesentlichen eine Temperatur aufweisen, die siedender flüssiger Stickstoff bei natürlichem Atmosphärendruck annimmt.

[0015] Wird hier beschrieben, dass ein Verfahrensschritt in einer bestimmten Anlagenkomponente durchgeführt wird, so ist dies im hier verwendeten Sprachgebrauch so zu verstehen, dass diese Anlagenkomponente zur Durchführung dieses Verfahrensschrittes eingerichtet

tet ist, sofern nicht ausdrücklich etwas anderes angegeben ist.

[0016] Das hier vorgeschlagene Verfahren wird zum Anwärmen einer Anlagenkomponente einer Anlage verwendet, die in einem ersten Betriebszeitraum auf einem kryogenen Temperaturniveau betrieben wird. Das Anwärmen wird in einem zweiten Betriebszeitraum durchgeführt, wobei ein Verdichter zum Verdichten eines Anwärmfluids betrieben wird, wobei sich das Anwärmfluid während des Verdichtens auf ein erstes Temperaturniveau erwärmt, wobei das verdichtete und erwärmte Anwärmfluid zumindest zu einem ersten Anteil einer zu erwärmenden Anlagenkomponente zugeführt wird und dort unter Wärmeübertragung auf die zu erwärmende Anlagenkomponente auf ein zweites Temperaturniveau abgekühlt wird, und wobei das abgekühlte Anwärmfluid stromab der zu erwärmenden Anlagenkomponente zu dem Verdichter zurückgeführt wird, um erneut verdichtet zu werden. Unter einem Betreiben einer Anlage auf einem kryogenen Temperaturniveau soll hierbei auch eine Situation verstanden werden, in der die Anlage durch kalte Umgebungsbedingungen (passiv) auf eine kryogene Temperatur abgekühlt ist.

[0017] Die vorliegende Erfindung überwindet mehrere Nachteile des eingangs erwähnten Anwärmens mit Speise- oder Regenerationsgas. Voraussetzung für eine solche herkömmliche Anwärmung ist zunächst, dass solches in ausreichender Menge und auf dem erforderlichen Temperaturniveau zur Verfügung stehen muss. Steht kein entsprechendes Gas zur Verfügung, z.B. aufgrund von Störungen in der Anlage, ist das Anwärmen nicht möglich. Steht erst zu einem späteren Zeitpunkt wieder entsprechendes Gas auf dem erforderlichen Temperaturniveau zur Verfügung, können die zulässigen Temperaturdifferenzen des anzuwärmenden Anlagenteils bzw. -apparats ggf. verletzt werden. Ein Wiederanfahren ist dann nur möglich, wenn die Anlage durch Wärmeeintrag aus der Umgebung angewärmt wird, was zu einer Verzögerung von mehreren Wochen führen kann, bis der volle Produktionsbetrieb wieder erreicht ist. Durch den Einsatz der vorliegenden Erfindung kann die zur Anwärmung erforderliche Gasmenge aus externen Quellen, wie Speisegas oder Stickstoff, reduziert und ggf. auf externes Gas vollständig verzichtet werden.

[0018] Außerdem erfordert der Anwärmvorgang mit Speisegas als das Anwärmgas typischerweise ein Fackeln des verbrauchten Anwärmgases, was zu erhöhten Kohlendioxidemissionen und höheren Betriebskosten führt. Die vorliegende Erfindung ermöglicht in dieser Hinsicht entsprechende Einsparungen.

[0019] Des Weiteren bietet die vorliegende Erfindung den Vorteil, dass mit steigendem Temperaturniveau immer mehr Anwärmfluid über den Verdichter geleitet werden kann. Somit bleibt die Anwärmrate konstant oder erhöht sich, was zu kürzeren Ausfallzeiten der Anlage führt. Beim konventionellen Anwärmen sinkt demgegenüber die Anwärmrate mit steigendem Temperaturniveau, da die Menge an verfügbarem Anwärmfluid limitiert ist.

[0020] Die vorliegende Erfindung kann in Ausgestaltungen ihre Vorteile in unterschiedlichen Szenarien entfalten. Ein erstes Szenario stellt dabei eine Abschaltung zu Wartungszwecken dar. Falls nach der Abschaltung von Anlagenkomponenten eine Inspektion und/oder Wartung der Apparate erforderlich ist, muss der betroffene Teil der Anlage auf Temperaturen oberhalb der Umgebungstemperatur erwärmt werden, um das Eindringen von Umgebungsluft in die kalten Apparate und damit eine Verunreinigung der Anlage durch kondensierende Feuchtigkeit zu vermeiden. Durch den Einsatz der vorliegenden Erfindung können beispielsweise Prüf- und Wartungsintervalle verkürzt und damit ein zuverlässiger Betrieb ohne ungeplante Ausfälle sichergestellt werden, weil die nachteiligen Effekte herkömmlicher Anwärmverfahren zumindest teilweise eliminiert werden können.

[0021] Ein zweites Szenario stellt ein Wiederanfahren nach Abschaltung der Anlage dar. Im Falle einer Anlagenabschaltung, z.B. aufgrund von Störfällen, ist ein Kaltstart nicht immer möglich, wenn die zulässigen Temperaturgrenzen für den Neustart verletzt werden, z.B. wenn der warme Teil der Plattenwärmetauscher (PFHE) zu kalt geworden ist. In solchen Fällen ist ggf. ein Wiederanfahren aufgrund zu hoher Temperaturdifferenzen nicht möglich, was zu unerwünschter thermischer Belastung der PFHEs führen würde. In einem solchen Fall kann ein Anwärmen der gesamten Anlage und ein anschließender Warmstart erforderlich sein. Das Anwärmen der betroffenen Anlagenteile muss dabei rechtzeitig eingeleitet werden, da auch für den Anwärmvorgang die zulässigen Temperaturdifferenzen berücksichtigt werden müssen. Die vorliegende Erfindung kann dazu führen, dass eine entsprechende Anwärmung der Gesamtanlage vermieden werden kann, da für das Anwärmen weniger oder keine zusätzlichen Gase bereitgestellt werden müssen.

[0022] Schließlich stellt auch die Entfernung von Wasser oder anderen Komponenten (z.B. schwere Kohlenwasserstoffe), die ausgefroren sind, ein weiteres Szenario dar, in dem eine Anwärmung vorgenommen wird. Falls unerwünschte Komponenten, die unter kalten Prozessbedingungen einfrieren, wie Wasser oder schwere Kohlenwasserstoffe, in den kryogenen Anlagenteil geleitet wurden, muss dieser Teil aufgewärmt werden, damit diese Komponenten entfernt werden können, um die erforderliche Produktspezifikation zu gewährleisten und einen Betrieb der Anlage außerhalb ihrer Spezifikationen zu vermeiden. Nach dem Anwärmen der Anlage kann das kontaminierte Inventar ersetzt werden bzw. können die Verunreinigungen entfernt werden. Die vorliegende Erfindung ermöglicht es aufgrund der erläuterten Vorteile, eine entsprechende Entfernung zügiger vorzunehmen als auch Emissionen zu minimieren.

[0023] Als Verdichter kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere ein Speiseverdichter und/oder ein Produktverdichter und/oder ein Kältemittelverdichter verwendet werden. Ein Speiseverdichter wird in einem Normalbetriebsmodus der Anlage, in dem keine

Anwärmung von Anlagenkomponenten erfolgt, zum Verdichten von der Anlage zugeführtem Einsatzfluid verwendet. Ein Produktverdichter wird in dem Normalbetriebsmodus zum Verdichten von in der Anlage erzeugtem Produktfluid verwendet. Ein Kältemittelverdichter wird in dem Normalbetriebsmodus zum Verdichten von Kältemittel und damit mittelbar zum Abführen von Wärme aus den kalten Anlagenkomponenten verwendet.

[0024] Jeder Verdichter bzw. Kompressor kann grundsätzlich über eine sogenannte Anti-Surge- oder Pumpschutzleitung im vollen Kreislauf betrieben werden, d.h. ohne externes Fluid einspeisen zu müssen. Das verdichtete Fluid wird dabei typischerweise in einem speziellen Nachkühler gekühlt, um die Verdichtungswärme abzuführen. Nach der Abkühlung wird das Fluid wieder zur Saugseite des Kompressors zurückgeführt, um zu verhindern, dass der Verdichter "leerläuft".

[0025] Ein Teil des kalten Anwärmfluids kann auf der Saugseite des Verdichters mit warmem Pumpschutzfluid aus der Pumpschutzleitung, das aus einem zweiten Anteil des in dem Verdichter verdichteten Anwärmfluids gebildet wird, gemischt werden. Der Verdichter wird also nicht nur zur erneuten Verdichtung, sondern auch zur Erwärmung des Anwärmfluids genutzt, so dass es erneut zum Anwärmen verwendet werden kann, ohne dass ein Abfackeln erforderlich ist. Dazu kann optional der sonst übliche Nachkühler durch das Anwärmfluid umgangen oder dieser in seiner Kühlleistung reduziert werden, um ein höheres Wärmeniveau für das Anwärmen bereitzustellen.

[0026] Damit kann das Abfackeln von Erdgas als herkömmliches Anwärmfluid erheblich reduziert oder ganz vermieden werden, indem ein, insbesondere ohnehin installierter, Verdichter zur Rückführung des warmen Anwärmgases eingesetzt wird.

[0027] Da die mechanische Auslegungstemperatur des Verdichters nicht durch das Anwärmverfahren bestimmt werden soll, kann das Mengenverhältnis zwischen dem ersten Anteil und dem zweiten Anteil des Anwärmfluids (also das Verhältnis zwischen Anwärmfluid und Pumpschutzfluid) dabei in Abhängigkeit von der Temperatur des zurückgeführten, kalten Anwärmfluids (also in Abhängigkeit von dem zweiten Temperaturniveau) eingestellt werden. Insbesondere kann dabei, je wärmer das rückläufige Anwärmfluid wird, umso mehr Anwärmfluid (erster Anteil) dem Verdichter zugeführt werden und das Pumpschutzfluid (zweiter Anteil) kann, entsprechend den Erfordernissen des Pumpschutzes des Verdichters, reduziert werden. Somit kann die Anwärmrate konstant gehalten oder sogar erhöht werden, da mit höherem Temperaturniveau immer mehr Anwärmfluid zum kalten Anlagenteil geleitet werden kann. Hierdurch reduziert sich die Ausfallzeit der Anlage erheblich.

[0028] Insbesondere kann ein Kältemittel und/oder ein Speisefluid und/oder ein Produktfluid als das Anwärmfluid verwendet werden. Damit wird vermieden, dass verfahrensfremde Stoffe in die Anlage eingebracht werden.

[0029] Das Anwärmfluid kann abhängig vom Einsatz-

gebiet in der Anlage beispielsweise eines oder mehrere aus der Gruppe aus Stickstoff, Erdgas, Luft, Sauerstoff, Helium, Wasserstoff, Argon, Ethan, Ethanderivaten, Propan, Propanderivaten und anderen Kohlenwasserstoffen umfassen. Dies sind typischerweise in kryogenen Anlagen verwendete Stoffe und damit besonders anwendungsrelevant. Unter "Derivaten" werden hier einfach oder mehrfach substituierte (funktionalisierte) Alkane verstanden, die aus den Ursprungsalkanen ohne Veränderung der Kohlenstoff-Kettenlänge abgeleitet sind.

Kurze Beschreibung der Figuren

[0030] Die Erfindung sowie weitere Einzelheiten der Erfindung werden im Folgenden anhand von in den Zeichnungen schematisch dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Hierbei zeigen:

Figuren 1 und 1A Ausgestaltungen einer nicht erfindungsgemäßen Anlage in stark vereinfachter schematischer Darstellung, und

Figuren 2 bis 5 Anlagen, wie sie in Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung verwendet werden können, in stark vereinfachter schematischer Darstellung.

Ausführliche Beschreibung

[0031] Die nachfolgend beschriebenen Ausführungsformen werden lediglich zu dem Zweck beschrieben, den Leser beim Verständnis der beanspruchten und zuvor erläuterten Merkmale zu unterstützen. Sie stellen lediglich repräsentative Beispiele dar und sollen hinsichtlich der Merkmale der Erfindung nicht abschließend und/oder beschränkend betrachtet werden. Es versteht sich, dass die zuvor und nachfolgend beschriebenen Vorteile, Ausführungsformen, Beispiele, Funktionen, Merkmale, Strukturen und/oder anderen Aspekte nicht als Beschränkungen des Umfangs der Erfindung, wie er in den Ansprüchen definiert ist, oder als Beschränkungen von Äquivalenten zu den Ansprüchen zu betrachten sind, und dass andere Ausführungsformen verwendet und Änderungen vorgenommen werden können, ohne vom Umfang der beanspruchten Erfindung abzuweichen.

[0032] Unterschiedliche Ausführungsformen der Erfindung können weitere zweckmäßige Kombinationen der beschriebenen Elemente, Komponenten, Merkmale, Teile, Schritte, Mittel usw. umfassen, aufweisen, aus ihnen bestehen oder im Wesentlichen aus ihnen bestehen, auch wenn solche Kombinationen hier nicht spezifisch beschrieben sind. Darüber hinaus kann die Offenbarung andere Erfindungen umfassen, die gegenwärtig nicht beansprucht sind, die aber in Zukunft beansprucht werden können, insbesondere wenn sie vom Umfang der unabhängigen Ansprüche umfasst sind.

[0033] Erläuterungen, die sich auf Vorrichtungen, Apparate, Anordnungen, Systeme usw. gemäß Ausführ-

rungsformen der vorliegenden Erfindung beziehen, können auch für Verfahren, Prozesse, Methoden usw. gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung gelten und umgekehrt. Gleiche, gleich wirkende, in ihrer Funktion einander entsprechende, baulich identisch oder vergleichbar aufgebaute Elemente, Verfahrensschritte usw. können mit identischen Bezugszeichen angegeben sein.

[0034] Figur 1 veranschaulicht stark vereinfacht ein Anwärmverfahren für eine Anlagenkomponente K anhand einer Anlage 100. Bei der Anlagenkomponente K kann es sich beispielsweise um einen Gegenstromwärmetauscher, insbesondere einen Plattenwärmetauscher, einen gewickelten Wärmetauscher, oder um eine Gruppe von Wärmetauschern und ggf. zugeordneten Apparaten, handeln.

[0035] Die Anlagenkomponente K wird in einem Normalbetriebsmodus, in dem die Anlagenkomponente K nicht erwärmt wird, bei einem Temperaturniveau betrieben, das insbesondere unter 0 °C liegt. In dem Normalbetriebsmodus wird der Anlagenkomponente K, und der Anlage 100 insgesamt, ein Speisefluid 1, z.B. Erdgas, zugeführt. Der Anlage 100 bzw. der Anlagenkomponente K wird in dem Normalbetriebsmodus ferner ein Produktfluid 2, beispielsweise verflüssigtes Erdgas, entnommen. Typischerweise kann die Anlage 100 einen Kältemittelkreislauf 4, 4A umfassen, der hier ebenfalls angedeutet ist.

[0036] Ist ein Anwärmen der Anlage 100 bzw. der Anlagenkomponente K erforderlich, kann der Kältemittelkreislauf 4, 4A abgeschaltet werden, ebenso wie die Zufuhr von Speisefluid 1. Der anzuwärmenden Anlagenkomponente K kann dann ein Anwärmfluid 3 zugeführt werden, das, insbesondere gemäß einem vorbestimmten Temperaturprofil, die anzuwärmende Anlagenkomponente K mit Wärme versorgt und auf eine gewünschte Temperatur anwärmt. Als das Anwärmfluid 3 kann beispielsweise Speisefluid 1 oder ein anderes Wärmeträgermedium verwendet werden. Nach Durchströmen der anzuwärmenden Anlagenkomponente K kann das Anwärmfluid 3, das beispielsweise mit ausgefrorenen und nun rückverdampften Verunreinigungen aus der Anlage 100 kontaminiert sein kann, zur Entsorgung über ein Ventil V zu einer Fackel F geleitet werden, in der es, in der Regel ohne weiteren Nutzen, verbrannt wird.

[0037] Beispielhaft ist in Figur 1A nochmals eine entsprechende Anlage veranschaulicht, in der die in Figur 1 mit K bezeichnete Anlagenkomponente K als Hauptwärmetauscher E1 ausgebildet ist. Die Anlage ist auch hier insgesamt mit 100 bezeichnet.

[0038] Zunächst sei hier der Normalbetrieb der Anlage 100 zum besseren Verständnis kurz dargestellt. Trockenes Speisegas 1, wie zuvor z.B. Erdgas, wird zu dem Hauptwärmetauscher E1 (z.B. einem spiralgewickelten Wärmetauscher, einem Plattenwärmetauscher oder einer Anordnung aus mehreren Wärmetauschern) geleitet, wo es verflüssigt und unterkühlt wird. Das unterkühlte flüssige Erdgas (LNG) 2 wird über ein Ventil V1 auf ein

geeignetes LNG-Speicherdruckniveau gedrosselt und beispielsweise in einen LNG-Tank eingespeist.

[0039] Die erforderliche Kühleistung wird durch einen Kältemittelkreislauf erbracht, von dem Teilströme in Figur 1A wie zuvor mit 4, 4A bezeichnet sind. Genauer wird aus dem Hauptwärmetauscher E1 austretendes Niederdruckkältemittel 4A hierin über einen Ansaugbehälter D1 zu einem Kältemittelverdichter C1 zur Verdichtung geleitet. In dem Verdichter C1 aus dem Niederdruckkältemittel 4A erzeugtes Hochdruckkältemittel 4 wird in einem Nachkühler bzw. Kondensator E2 teilweise kondensiert und zu einem Behälter D2 geleitet, wo Flüssigkeit und Gas getrennt werden. Der Pumpschutz des Kältemittelverdichters C1 wird durch Gas 5 gewährleistet, das stromabwärts des Behälters D2 über Kopf entnommen, über ein Drosselventil V3 gedrosselt und zur Saugseite des Kältemittelverdichters C1 zurückgeführt wird.

[0040] Flüssiges und gasförmiges Hochdruckkältemittel 4, das den Behälter D2 verlässt, wird zum Hauptwärmetauscher E1 geleitet, wo es zunächst vollständig verflüssigt und unterkühlt wird. Nach dem Verlassen des Wärmetauschers E1 wird das Hochdruckkältemittel 4 in einem Ventil V2 auf ein niedriges Druckniveau gedrosselt und als Niederdruckkältemittel 4A zurück zum Wärmetauscher E1 geleitet, wo es verdampft und überhitzt wird und die Kälteleistung für die Erdgasverflüssigung bereitstellt. Schließlich wird das unter niedrigem Druck stehende Kältemittel 4A zurück zum Kältemittelverdichter C1 zur Rückverdichtung geleitet.

[0041] Das Anwärmen kann, wie nachfolgend erläutert, insbesondere für jede Passagengruppe des Hauptwärmetauschers E1 einzeln durchgeführt werden: Für den Erdgasweg bzw. die Erdgaspassagen wird Anwärm- oder Regenerationsgas 3 über ein Ventil V4 zum Hauptwärmetauscher E1 geleitet. Das Anwärmgas 3 strömt durch den Erdgasweg und kann über ein Ventil V7 am kalten Ende des Wärmetauschers E1 zu einer Fackel F geleitet werden, wo es, wie zuvor bereits angesprochen, abgefackelt, also ohne weiteren Nutzen verbrannt werden kann. Es kann auch Speisegas 1 als das Anwärmgas 3 verwendet werden.

[0042] Zum Anwärmen des Kältemittelwegs bzw. der Passagen für das Hochdruckkältemittel 4 kann das Anwärmgas 3 über ein Ventil V5 zum Hauptwärmetauscher E1 geleitet werden. Das Anwärmgas 3 strömt durch die entsprechenden Passagen und kann am kalten Ende des Hauptwärmetauschers E1 über ein Ventil V8 ebenfalls zur Fackel F geleitet und entsprechend verbrannt werden.

[0043] Zum Anwärmen der Kältemittelwegs bzw. der Passagen für das Niederdruckkältemittel wird das Anwärmgas 3 über ein Ventil V6 zum Wärmetauscher E1 geleitet. Das Anwärmgas 3 strömt durch die entsprechenden Passagen und kann am kalten Ende des Wärmetauschers E1 über ein Ventil V9 ebenfalls zur Fackel F geleitet und entsprechend verbrannt werden.

[0044] Die Figuren 2 bis 5 veranschaulichen Ausgestaltungen der Erfindung in schematischer Darstellung.

Bauteile mit identischer, im Wesentlichen identischer, oder vergleichbarer Funktion und/oder technischer Ausgestaltung wie in den in den Figuren 1, 1A dargestellten Anlage 100 sind mit identischen Bezugszeichen versehen.

[0045] In den Figuren 2, 3 und 4 sind jeweils allgemeine Anlagen 200, 300 bzw. 400 mit einer Anlagenkomponente K gezeigt, die in einem Normalbetriebsmodus bei kalten oder kryogenen Temperaturniveaus betrieben werden. Ist eine Anwärmung der jeweiligen Anlage 200, 300, 400 erforderlich, so wird Anwärmfluid 3 der anzuwärmenden Anlagenkomponente K zugeführt.

[0046] Diese allgemeinen Anlagen 200, 300, 400 unterscheiden sich von der in Figur 1 gezeigten Anlage 100 insbesondere dadurch, dass das Anwärmfluid nicht lediglich einmal der Anlagenkomponente K zugeleitet wird, sondern jeweils über einen Verdichter rückgeführt und erneut als Anwärmfluid 3 verwendet wird. Eine Fackel zur Verbrennung von verbrauchtem Anwärmfluid 3 ist daher nicht erforderlich und dementsprechend auch nicht dargestellt. Dabei wird das kalte Anwärmfluid 3 stromauf des jeweiligen Verdichters CS, CP, C1 mit (warmem) Pumpschutzfluid 5, das über Pumpschutzventil V3 von der Druckseite zur Saugseite des jeweiligen Verdichters CS, CP, C1 zurückgeführt wird, zusammengeführt, verdichtet und zu der zu erwärmenden Anlagenkomponente K zurückgeführt. Die Verdichtungswärme wird somit letztlich zur Erwärmung der Anlagenkomponente K genutzt.

[0047] Untereinander unterscheiden sich die Anlagen 200, 300, 400 insbesondere durch die konkrete Anordnung des jeweiligen Verdichters. In der in Figur 2 dargestellten Anlage 200 wird zur Rückführung des Anwärmfluids 3 ein Speiseverdichter CS, der in einem Normalbetriebsmodus zur Verdichtung des der Anlage 200 zugeführten Speisefluids 1 verwendet wird, eingesetzt. In der in Figur 3 dargestellten Anlage 300 wird anstatt des Speiseverdichters CS ein Produktverdichter CP, der in dem Normalbetriebsmodus zur Verdichtung eines der Anlage 300 entnommenen Produktfluids 2 verwendet wird, zur Rückführung des Anwärmfluids 3 verwendet. In der in Figur 4 dargestellten Anlage 400 wird schließlich ein Kältemittelverdichter C1 zur Rückführung und Anwärmung des Anwärmfluids 3 verwendet. In einem Normalbetrieb der Anlage 400 wird der Kältemittelverdichter C1 zur Rückverdichtung von in der Anlage 400 zur Kühlung eingesetztem Kältemittel 4, 4A verwendet.

[0048] In Figur 5 wird die Medienführung anhand eines Beispiels einer Anlage 500, die beispielsweise zur Erdgasverflüssigung dient und die einen wie in Figur 1A mit E1 bezeichneten Hauptwärmetauscher E1 aufweist, detaillierter dargestellt. In der Anlage 500 wird wie in der Anlage aus Figur 4 ein Kältemittelverdichter C1 zur Rückführung des Anwärmfluids 3 verwendet.

[0049] Der Kältemittelkreislauf 4, 4A ist dabei grundsätzlich analog zu dem der Anlage 100 gemäß Figur 1A aufgebaut: Kältemittel 4A, das bei einem niedrigen Druckniveau aus dem Wärmetauscher E1 abgezogen

wird, wird über einen Ansaugbehälter D1 dem Kältemittelverdichter C1 zugeführt, auf ein hohes Druckniveau (Hochdruckkältemittel 4) verdichtet, in einem Kondensator E2 abgekühlt und teilverflüssigt und in einen Behälter D2 geleitet, in dem sich flüssige und gasförmige Phase des Kältemittels 4 trennen. Aus dem Behälter D2 wird das Hochdruckkältemittel wieder entnommen und warmseitig zu dem Wärmetauscher E2 zurückgeführt, unterkühlt, in einem Drosselventil V2 entspannt und als Niederdruckkältemittel 4A kaltseitig wieder in den Wärmetauscher E1 geführt.

[0050] Für den Anwärmprozess wird der Kältemittelverdichter C1 mit zunächst hohen Anteilen an Pumpschutzfluid 5 betrieben, das direkt von der Hochdruckseite des Verdichters C1 zu der Niederdruckseite des Verdichters C1 zurückgeleitet wird. Dadurch wird insgesamt Wärme in die Anlage 500 eingebracht.

[0051] Das Anwärmen kann für jede Passage von E1 einzeln durchgeführt werden. Zum Anwärmen wird in dem hier gezeigten Beispiel das aus dem Behälter D2 kopfseitig entnommene Kältemittel 4 verwendet. Die Flüssigkeit aus Behälter D2 ist nicht zur Verwendung vorgesehen, und die untere Leitung von Behälter D2 ist während des Anwärmvorgangs nicht in Betrieb.

[0052] Für den Anwärmprozess des Erdgaswegs (Speisefluid 1 zu Produkt 2) des Wärmetauschers E1 wird das Anwärmfluid 3 über Ventil V4 zum Wärmetauscher E1 geleitet. Das Anwärmfluid 3 strömt durch den Erdgasweg und wird über Ventil V7 zurück zur Saugseite des Verdichters C1 geleitet.

[0053] Zum Anwärmen des Kältemittelwegs bzw. der Passagen für das Hochdruckkältemittel des Wärmetauschers E1 wird das Anwärmfluid 3 von dem Behälter D2 über Ventil V5 durch die Passagen und über V8 zurück zur Saugseite des Verdichters C1 geleitet.

[0054] Zum Anwärmen des Kältemittelwegs bzw. der Passagen für das Niederdruckkältemittel wird das Anwärmfluid 3 über Ventil V6 zum Wärmetauscher E1 geleitet. Das Anwärmfluid 3 strömt durch die Passagen und wird über Ventil V9 zur Saugseite des Verdichters C1 zurückgeführt. Dies kann für jede Passage einzeln oder über alle Passagen parallel erfolgen.

[0055] Es ist kein Abfackeln von Speisegas oder Entlassen von Stickstoff an die Atmosphäre erforderlich, wenn die Apparate nur aufgewärmt werden müssen, was den Kohlendioxid-Fußabdruck der Anlage 100 bzw. den Verbrauch an Betriebs- und/oder Hilfsstoffen reduziert.

[0056] Weniger Abfackeln von Speisegas oder Entlassen von Stickstoff an die Atmosphäre ist erforderlich, wenn die Apparate aufgewärmt und anschließend gespült werden müssen, um Wasser und/oder andere Komponenten zu entfernen, die im kryogenen Prozess eingefroren wurden.

[0057] Es ergeben sich kürzere Wiederanlauf- oder Abschaltzeiten durch schnelleres Anwärmen der Anlage, da aufgrund der zyklischen Prozessführung kein Defizit an Anwärmfluid herrscht.

[0058] Herkömmlicherweise wird das Anwärmen der

Anlage langsamer, je wärmer die Apparate werden, da der verfügbare Temperaturunterschied zwischen dem Anwärmfluid 3 und den kalten Apparaten K abnimmt, während die Durchflussrate des Anwärmfluids 3 konstant bleibt.

[0059] Der Vorteil der Verwendung eines Verdichters CS, CP, C1 für die Rückführung des Anwärmfluids 3 besteht darin, dass je wärmer das Anwärmfluid 3 wird, desto mehr Anwärmfluid kann dem Verdichter CS, CP, C1 zugeführt werden, während das Pumpschutzfluid 5 reduziert werden kann, idealerweise, bis das Pumpschutzventil V3 vollständig geschlossen ist. So können die Anwärmen relativ hoch gehalten werden, die einzige Grenze für die Anwärmen ist der zulässige Anwärmgradient der Apparate und nicht der verfügbare Anwärmfluiddurchsatz.

[0060] Ein weiterer Vorteil, insbesondere bei der Verwendung des Kältemittels als das Anwärmfluid besteht darin, dass die Kältemittelkreisläufe nicht mit Anwärmfluid verunreinigt werden, und somit keine Notwendigkeit besteht, Kältemittelinventar zu verwerfen. Ferner ist ein schnellerer Neustart der Anlage 500 möglich, da keine Anpassung des Kältemittels nach dem Start erforderlich ist (Kältemittel wird nicht ausgetauscht).

[0061] Unabhängig von der konkreten Anordnung des Verdichters CS, CP, C1 (siehe Figuren 2 bis 5) kann optional eine (ggf. schaltbare) Umgehungsleitung (Bypass) 6 vor dem Nachkühler E2 vorgesehen sein, um mehr Wärmeeintrag in die zu erwärmende Anlagenkomponente K und damit ein schnelleres Anwärmen zu ermöglichen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Anwärmen einer Anlagenkomponente (K, E1) einer Anlage (200, 300, 400, 500), die in einem ersten Betriebszeitraum auf einem kryogenen Temperaturniveau betrieben wird, wobei das Anwärmen in einem zweiten Betriebszeitraum durchgeführt wird, wobei ein Verdichter (CS, CP, C1) zum Verdichten eines Anwärmfluids (3) betrieben wird, wobei das Anwärmfluid (3) durch das Verdichten auf ein erstes Temperaturniveau erwärmt wird, wobei das verdichtete und erwärmte Anwärmfluid (3) zumindest zu einem ersten Anteil der zu erwärmenden Anlagenkomponente (K, E1) zugeführt und dort unter Wärmeübertragung auf die zu erwärmende Anlagenkomponente (K, E1) auf ein zweites Temperaturniveau abgekühlt wird, und wobei das abgekühlte Anwärmfluid (3) stromab der zu erwärmenden Anlagenkomponente (K, E1) zu dem Verdichter (CS, CP, C1) zurückgeführt und in diesem erneut verdichtet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Verdichter (CS, CP, C1) ein Speiseverdichter (CS) und/oder ein Produktverdichter (CP) und/oder ein Kältemittelver-

ichter (C1) der Anlage (200, 300, 400, 500) ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das verdichtete Anwärmfluid (3) zu einem zweiten Anteil unter Umgehung der Anlagenkomponente (K, E1) als Pumpschutzfluid (5) zu dem Verdichter (CS, CP, C1) zurückgeführt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei ein Mengenverhältnis zwischen dem ersten Anteil (3) und dem zweiten Anteil (5) des Anwärmfluids in Abhängigkeit von dem zweiten Temperaturniveau eingestellt wird.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei als das Anwärmfluid (3) ein Kältemittel (4, 4A) und/oder ein Speisefluid (1) und/oder ein Produktfluid verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Anwärmfluid (3) eines oder mehrere aus der Gruppe aus Stickstoff, Erdgas, Luft, Sauerstoff, Helium, Wasserstoff, Argon, Ethan, Ethanderivaten, Propan, Propanderivaten und anderen Kohlenwasserstoffen umfasst.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Anwärmfluid (3) beim Anwärmen der anzuwärmenden Anlagenkomponente (K, E1) innerhalb von Fluidführungsstrukturen durch die Anlagenkomponente (K, E1) geführt wird, die in dem ersten Betriebszeitraum, in dem die Anlage (200, 300, 400, 500) nicht angewärmt wird, von Prozessfluiden (1, 2, 4, 4A), die für einen Normalbetrieb in dem ersten Betriebszeitraum verwendet werden, durchströmt werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Anlage (200, 300, 400, 500) in dem Normalbetriebsmodus zum Verflüssigen eines Gases (1), insbesondere von Stickstoff und/oder Helium und/oder Erdgas, und/oder zur destillativen Luftzerlegung, verwendet wird.
9. Anlage (200, 300, 400, 500) mit zumindest einem Verdichter (CS, CP, C1), die zum Betrieb bei Temperaturen unterhalb von 0 °C eingerichtet ist, und die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorstehenden Ansprüche eingerichtet ist.

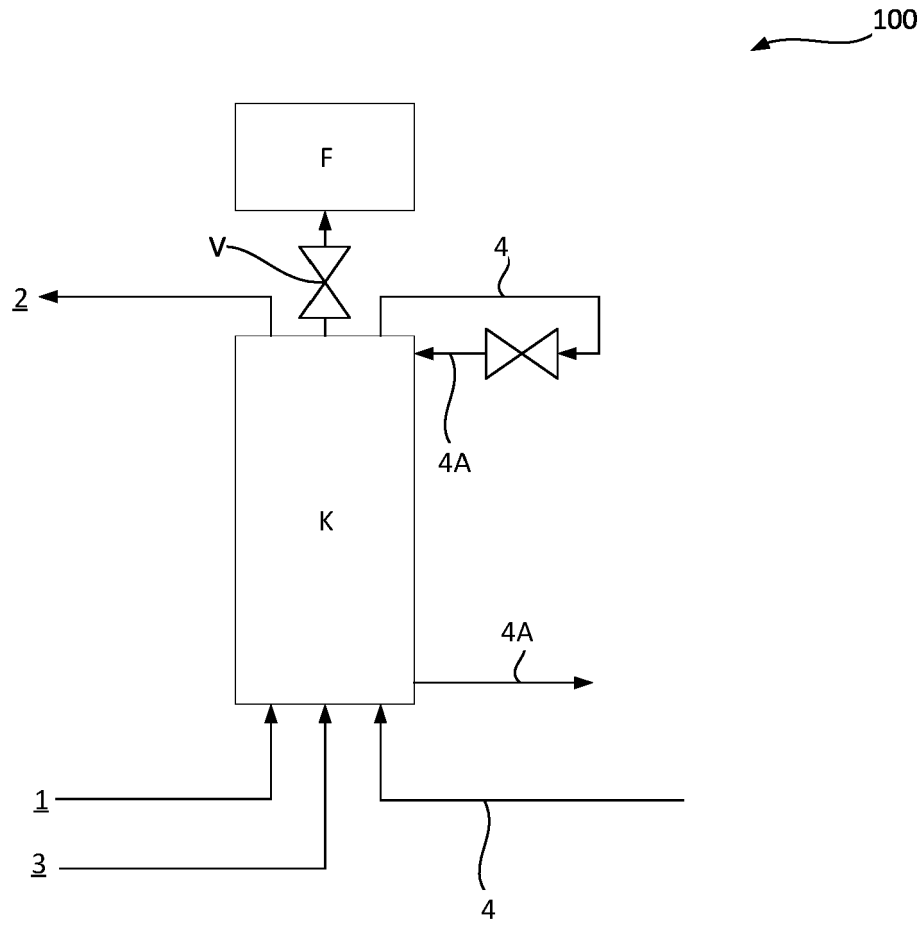
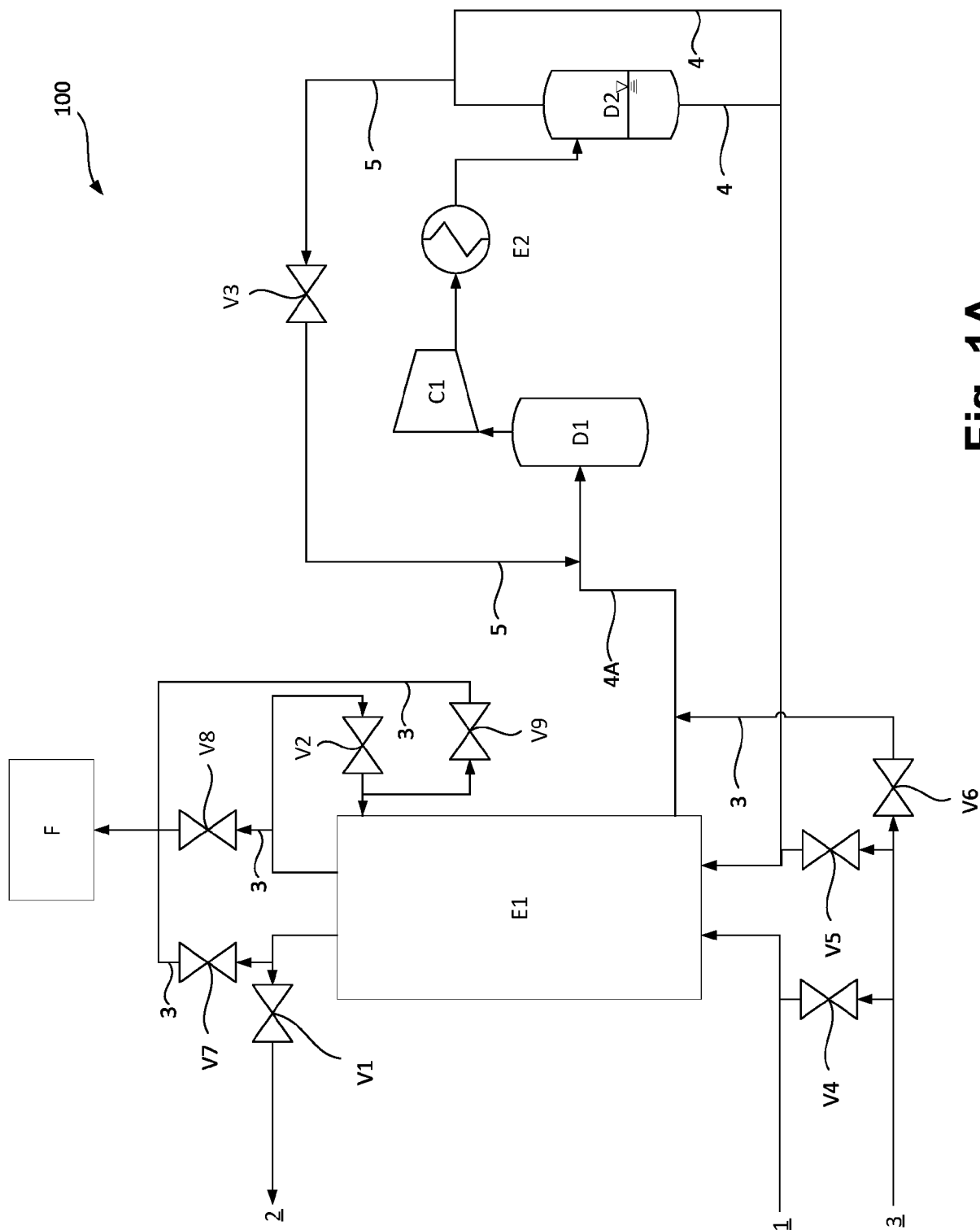


Fig. 1



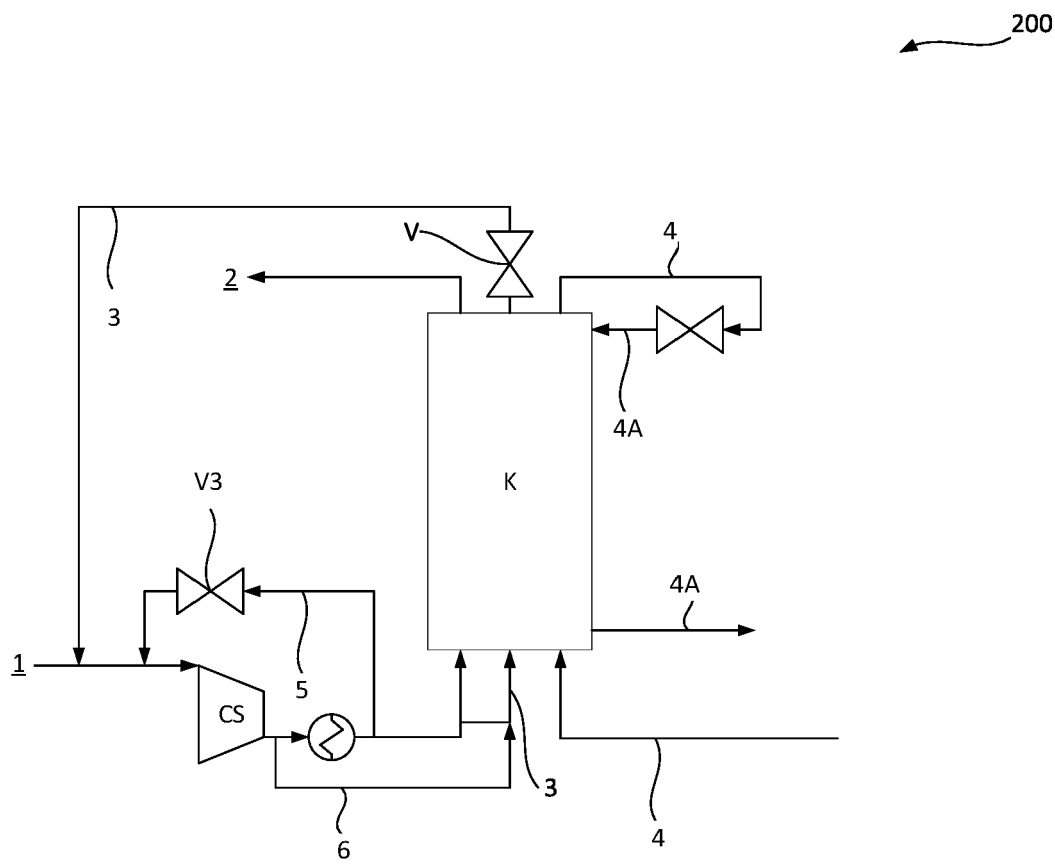


Fig. 2

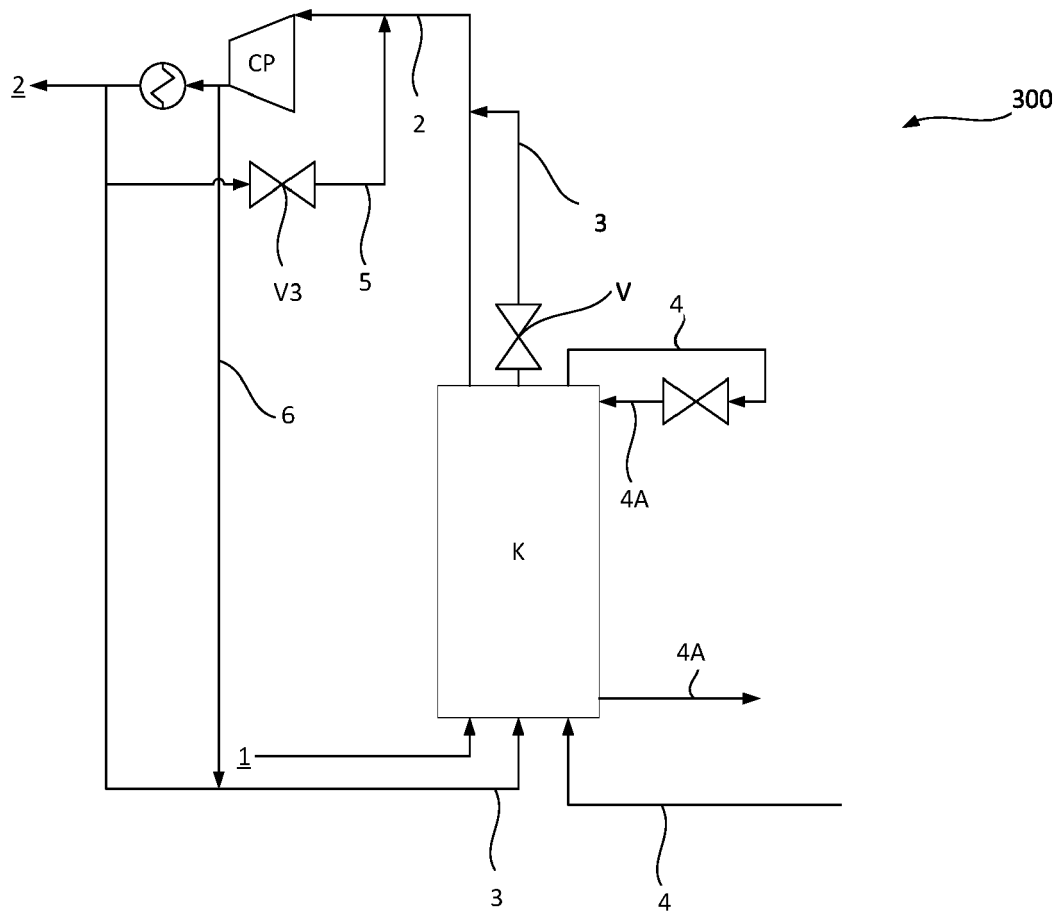


Fig. 3

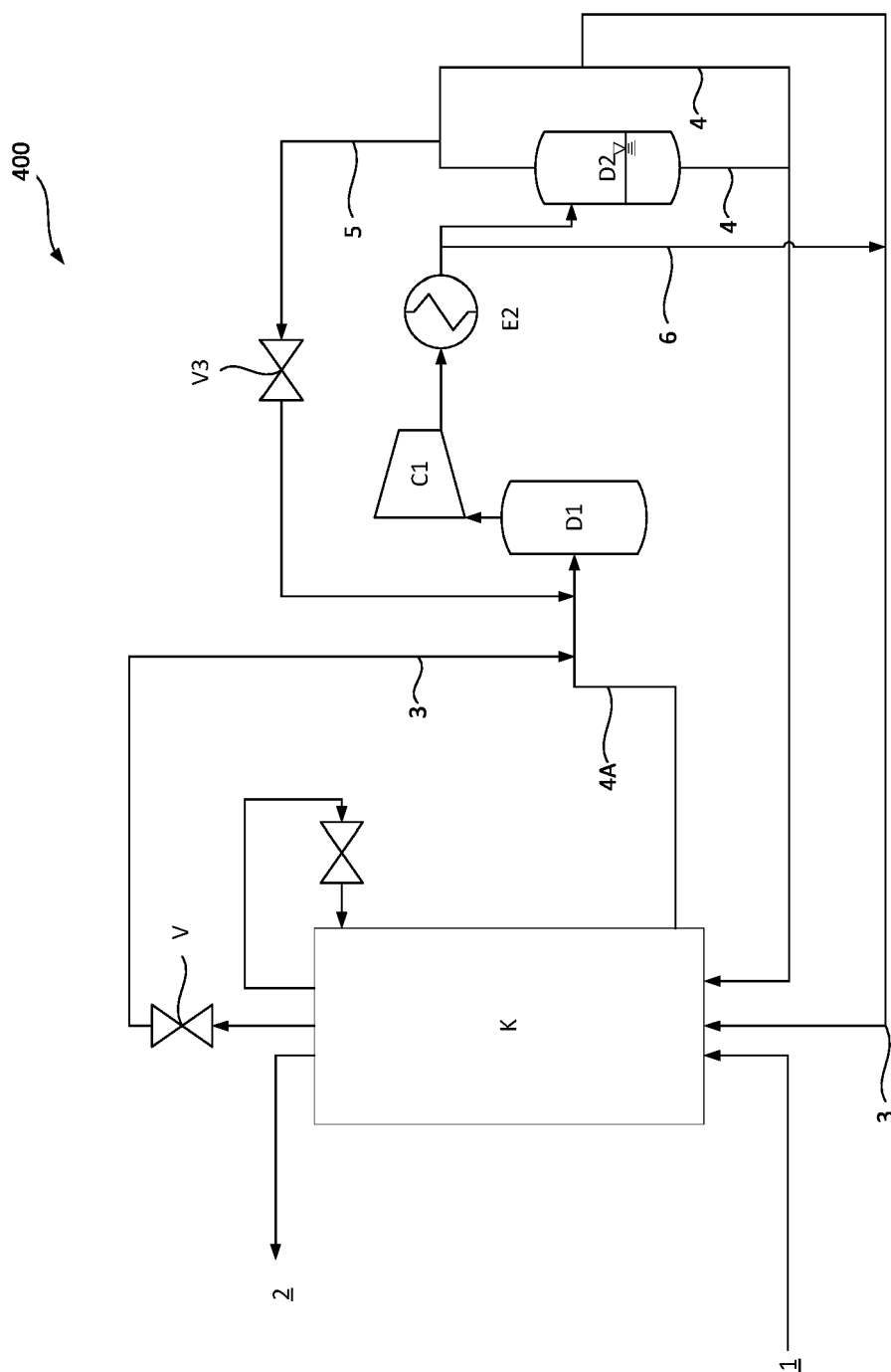


Fig. 4

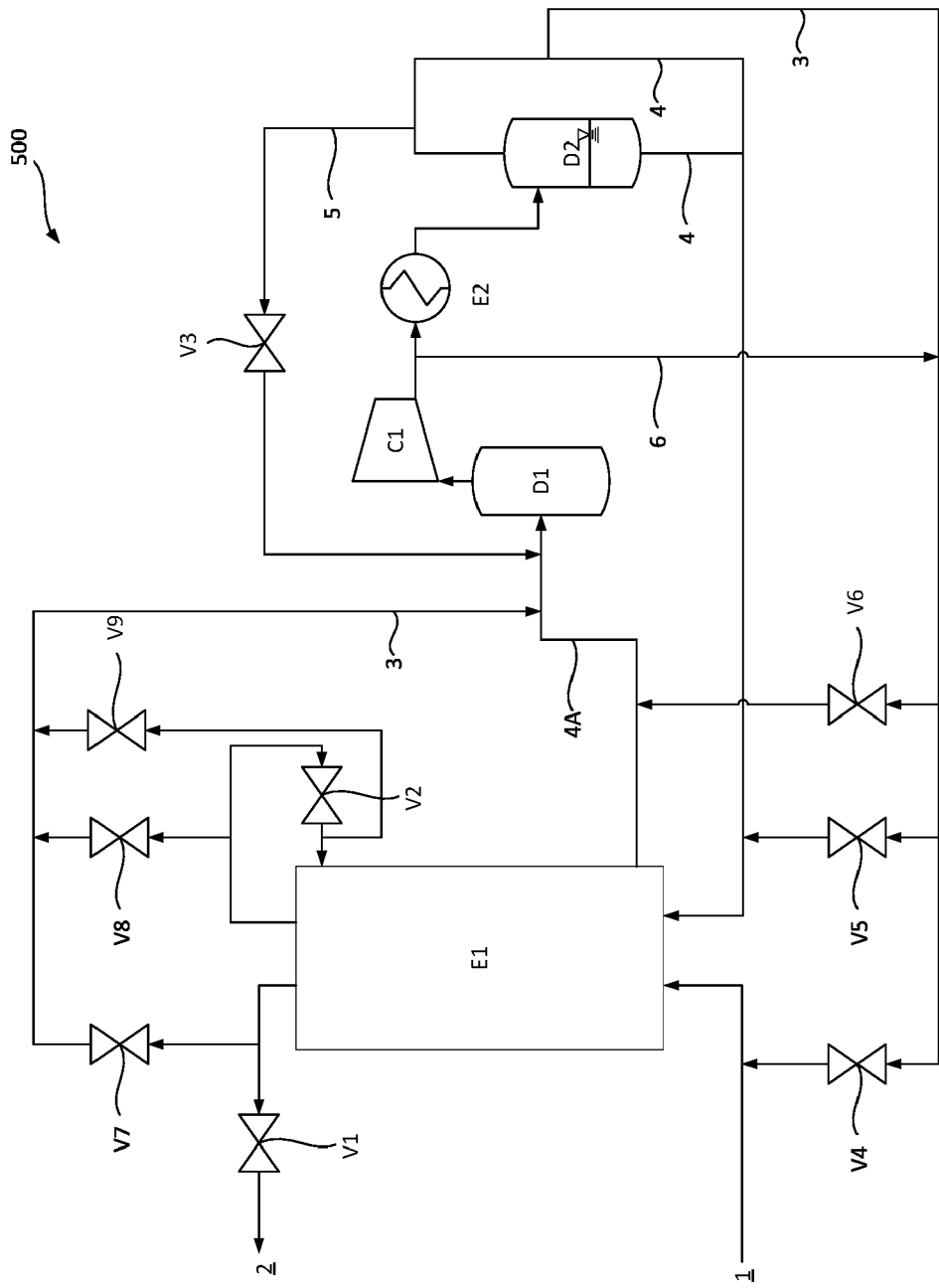


Fig. 5



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 02 0624

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 2015/308734 A1 (BAUER HEINZ [DE]) 29. Oktober 2015 (2015-10-29)	1-3, 5-9	INV. F25J1/00
A	* Abbildung 2 * -----	4	
X	WO 2015/122056 A1 (HITACHI APPLIANCES INC [JP]) 20. August 2015 (2015-08-20) * Abbildung 1 *	1, 9	
X	US 2022/268516 A1 (DURAND FABIEN [FR] ET AL) 25. August 2022 (2022-08-25) * Abbildung 2 * -----	1, 9	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F25J
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 16. Juni 2023	Prüfer Schopfer, Georg
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	

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

EP 22 02 0624

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente 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.

16-06-2023

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	US 2015308734 A1	29-10-2015	AU 2015202096 A1 BR 102015008488 A2 CA 2886955 A1 CN 105004141 A DE 102014005936 A1 RU 2015115492 A US 2015308734 A1	12-11-2015 15-12-2015 24-10-2015 28-10-2015 29-10-2015 10-11-2016 29-10-2015
20	WO 2015122056 A1	20-08-2015	JP 6138711 B2 JP 2015152205 A WO 2015122056 A1	31-05-2017 24-08-2015 20-08-2015
25	US 2022268516 A1	25-08-2022	AU 2020324281 A1 CA 3146133 A1 CN 114270109 A EP 4010647 A1 FR 3099818 A1 JP 2022542687 A KR 20220042415 A US 2022268516 A1 WO 2021023458 A1	24-02-2022 11-02-2021 01-04-2022 15-06-2022 12-02-2021 06-10-2022 05-04-2022 25-08-2022 11-02-2021
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82