



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
23.08.2023 Patentblatt 2023/34

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

(21) Anmeldenummer: **22020072.9**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
**F25J 1/0292; F25J 1/0022; F25J 1/0052;
F25J 1/0085; F25J 1/0087; F25J 1/0215;
F25J 1/0216; F25J 1/0262; F25J 1/0263;
F25J 2230/30; F25J 2290/12; F25J 2290/32**

(22) Anmeldetag: **21.02.2022**

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

(72) Erfinder: **Garthe, Daniel**
82049 Pullach (DE)

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

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

(54) **VERFAHREN UND ANLAGE ZUR ERZEUGUNG EINES VERFLÜSSIGTEN KOHLENWASSERSTOFFPRODUKTS**

(57) Ein Verfahren zur Erzeugung eines flüssigen Kohlenwasserstoffprodukts (LNG) wird vorgeschlagen, bei dem ein mit einem Reinstoffkältemittel betriebener Reinstoffkältemittelkreislauf (10), der eine erste Wärmetauscheranordnung (E1, E2) aufweist, und ein mit einem Gemischkältemittel betriebener Gemischkältemittelkreislauf (20), der eine zweite Wärmetauscheranordnung (E3, E4) aufweist, bereitgestellt werden, zumindest ein Teil des Kohlenwasserstoffeinsatzes (NG) zunächst unter Verwendung des Reinstoffkältemittelkreislaufs (10) vorgekühlt und anschließend unter Verwendung des Gemischkältemittelkreislaufs (20) zu dem flüssigen Kohlenwasserstoffprodukt (LNG) verflüssigt wird, in die erste Wärmetauscheranordnung (E1, E2) mehrere Reinstoff-

kältemittelteilströme (16, 22, 32, 44) des Reinstoffkältemittels auf unterschiedlichen Einspeisedruckniveaus und auf unterschiedlichen Einspeisetemperaturniveaus eingespeist werden, die Reinstoffkältemittelteilströme (16, 22, 32, 44) durch Entspannen ausgehend von einem gemeinsamen Vorentspannungsdruckniveau und unterschiedlichen Vorentspannungstemperaturniveaus auf die Einspeisedruckniveaus und Einspeisetemperaturniveaus gebracht werden, und die Vorentspannungstemperaturniveaus derart gewählt sind, dass die Reinstoffkältemittelteilströme (16, 22, 32, 44) auf den Einspeisetemperaturniveaus in unterkühltem Zustand vorliegen. Eine entsprechende Anlage ist ebenfalls Gegenstand der Erfindung.

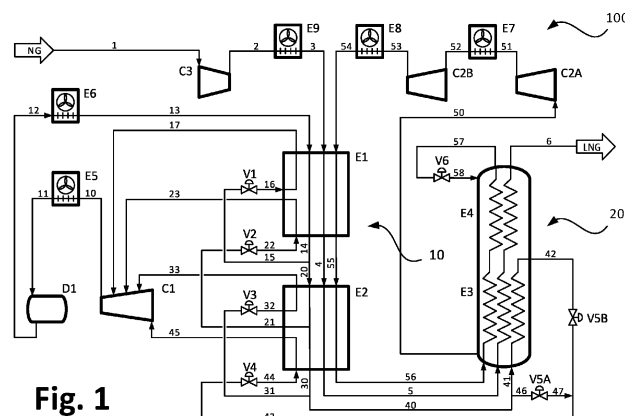


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anlage zur Erzeugung eines verflüssigten Kohlenwasserstoffprodukts gemäß den jeweiligen Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche.

Hintergrund

[0002] Verfahren und Anlagen zur Verflüssigung von Erdgas sind bekannt und umfangreich in der Fachliteratur beschrieben, beispielsweise im Artikel "Natural Gas" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Onlinepublikation 15. Juli 2006, DOI: 10.1002/14356007.a17_073.pub2, insbesondere Abschnitt 3, "Liquefaction", oder bei Wang und Economides, "Advanced Natural Gas Engineering", Gulf Publishing Company 2010, DOI: 10.1016/C2013-0-15532-8, insbesondere Kapitel 6, "Liquefied Natural Gas (LNG)".

[0003] Aus der US 3,763,658 B2 ist ein Verfahren zum Verflüssigen eines Kohlenwasserstoffesatzes bekannt, das insbesondere bei Erdgasverflüssigungsprozessen Anwendung finden kann. In diesem Verfahren dient ein Gemischkältemittelkreislauf der Verflüssigung und Unterkühlung des Kohlenwasserstoffesatzes, während zusätzlich ein Reinstoffkältemittelkreislauf bereitgestellt ist, mittels welchem sowohl der zu verflüssigende Kohlenwasserstoffesatz vorgekühlt als auch das Gemischkältemittel des Gemischkältemittelkreislaufs vorkühlt und teilverflüssigt wird. Ein derartiges Verfahren eignet sich insbesondere für Erdgasverflüssigungsprozesse mit einer Leistung zwischen 1 und 6 Millionen Jahrestonnen Flüssigerdgas.

[0004] Aus der DE 10 2009 018 248 A1 ist ebenfalls ein Verfahren zum Verflüssigen eines Kohlenwasserstoffesatzes bekannt, bei dem ein Gemischkältemittelkreislauf zum Einsatz kommt. Das Gemischkältemittel wird darin nach einer Verdichtung mittels eines Reinstoffkältemittelkreislaufs verflüssigt. Das verflüssigte Gemischkältemittel wird zur Verflüssigung des Kohlenwasserstoffesatzes eingesetzt und im Zuge dessen verdampft. Das verdampfte Gemischkältemittel wird zur Kühlung des Kohlenwasserstoffesatzes vor seiner eigentlichen Verflüssigung eingesetzt und anschließend der Verdichtung wieder zugeführt. Der Kohlenwasserstoffesatz wird hier also nicht mittels des Reinstoffkältemittelkreislaufs, sondern mittels des Gemischkältemittelkreislaufs vorgekühlt.

[0005] Entsprechende Verflüssigungsprozesse erfordern einen vergleichsweise hohen apparativen Aufwand und Platzbedarf. Die vorliegende Erfindung stellt sich daher die Aufgabe, in diesem Sinne Verbesserungen gegenüber dem Stand der Technik zu schaffen.

Offenbarung der Erfindung

[0006] Vor diesem Hintergrund schlägt die Erfindung ein Verfahren und eine Anlage zur Erzeugung eines ver-

flüssigten Kohlenwasserstoffprodukts mit den jeweiligen Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vor. Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche und der nachfolgenden Beschreibung.

[0007] Die vorliegende Erfindung kann insbesondere im Zusammenhang mit der Verflüssigung von Erdgas nach einer geeigneten Aufbereitung zum Einsatz kommen, eignet sich jedoch auch für die Verflüssigung anderer Kohlenwasserstoffgemische, insbesondere methanreicher Kohlenwasserstoffgemische mit einem Gehalt von mehr als 80% Methan, oder auch ggf. entsprechender Reinstoffe. Diese werden hier allgemein als "Kohlenwasserstoffesätze" bezeichnet. Ein Kohlenwasserstoffesatz ist also insbesondere aufbereitetes Erdgas, das nicht ausschließlich aus Kohlenwasserstoffen bestehen muss, sondern auch Stickstoff und weitere Gaskomponenten wie Edelgase (insbesondere Helium) enthalten kann.

[0008] Generell können bei der Erdgasverflüssigung Gemischkältemittel aus unterschiedlichen Kohlenwasserstoffbestandteilen und Stickstoff zum Einsatz kommen. Beispielsweise können dabei ein, oder zwei oder drei Gemischkältemittelkreisläufe eingesetzt werden (engl. Single Mixed Refrigerant, SMR; Dual Mixed Refrigerant, DMR; Mixed Fluid Cascade, MFC). Auch Gemischkältemittelkreisläufe mit Propanvorkühlung (C3MR) sind bekannt. Die vorliegende Anmeldung kann dabei insbesondere letzteren Fall betreffen, in welchem Fall die Verwendung von Propan als Reinstoffkältemittel erfolgt.

[0009] Die vorliegende Anmeldung verwendet zur Charakterisierung von Drücken und Temperaturen die Begriffe "Druckniveau" und "Temperaturniveau", wodurch zum Ausdruck gebracht werden soll, dass entsprechende Drücke und Temperaturen in einer entsprechenden Anlage nicht in Form exakter Druck- bzw. Temperaturwerte verwendet werden müssen. Jedoch bewegen sich derartige Drücke und Temperaturen typischerweise in bestimmten Bereichen, die beispielsweise $\pm 10\%$ um einen Mittelwert liegen. Entsprechende Druckniveaus und Temperaturniveaus können dabei in disjunkten Bereichen liegen oder in Bereichen, die einander überlappen. Insbesondere schließen beispielsweise Druckniveaus unvermeidliche oder zu erwartende Druckverluste ein. Entsprechendes gilt für Temperaturniveaus.

[0010] Ein "Wärmetauscher" zum Einsatz im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann in jeglicher fachüblichen Art ausgebildet sein. Er dient zur indirekten Übertragung von Wärme zwischen zumindest zwei z.B. im Gegenstrom zueinander geführten Fluidströmen. In letzterem Fall handelt es sich um einen "Gegenstromwärmetauscher". Ein entsprechender Wärmetauscher kann aus einem einzelnen oder mehreren parallel und/oder seriell verbundenen Wärmetauscherabschnitten gebildet sein, z.B. aus einem oder mehreren gewickelten Wärmetauschern oder entsprechenden Abschnitten.

[0011] Neben einem Gegenstromwärmetauscher, der insbesondere als ein (gelöteter) Rippen-PlattenWärme-

tauscher aus Aluminium (Brazed Aluminium Plate-Fin Heat Exchanger, PFHE; Bezeichnungen gemäß der deutschen und englischen Ausgabe der ISO 15547-2:3005) ausgebildet sein kann, können im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere auch Wärmetauscher zum Einsatz kommen, in dem ein abzukühlendes Fluid in entsprechenden Leitungen (beispielsweise einem Rohrbündel) durch einen Mantelraum geführt wird, in den ein zur Kühlung verwendetes Fluid entspannt wird.

[0012] Ist nachfolgend von einem "Reinstoffkältemittel" die Rede, sei hierunter insbesondere ein Kältemittel verstanden, das mehr als 90 Molprozent, insbesondere mehr als 95 Molprozent oder mehr als 99 Molprozent, einer einzigen Komponente aufweist. Bei der Komponente kann es sich insbesondere um Ethylen, Ethan, Propylen oder Propan handeln. Dagegen zeichnet sich ein "Gemischkältemittel" insbesondere dadurch aus, dass es mehrere Komponenten aufweist, von denen keine in einem Gehalt von mehr als 80 Molprozent, insbesondere mehr als 70 Molprozent oder mehr als 60 Molprozent, enthalten ist. Bei den Komponenten kann es sich insbesondere um Stickstoff, Methan, Ethan, Propan, Butan und Pentan sowie ungesättigte Äquivalente dieser Verbindungen handeln. Insbesondere kann ein derartiges Gemischkältemittel aber propanfrei sein oder Propan in einem Gehalt von höchstens 10 Molprozent, insbesondere höchstens 5 Molprozent oder höchstens 1 Molprozent, aufweisen.

[0013] Die vorliegende Erfindung schlägt insgesamt ein Verfahren zur Erzeugung eines flüssigen Kohlenwasserstoffprodukts unter Verwendung eines gasförmigen Kohlenwasserstoffes vor, bei dem ein mit einem Reinstoffkältemittel betriebener Reinstoffkältemittelkreislauf, der eine erste Wärmetauscheranordnung aufweist, und ein mit einem Gemischkältemittel betriebener Gemischkältemittelkreislauf, der eine zweite Wärmetauscheranordnung aufweist, bereitgestellt werden, und bei dem zumindest ein Teil des Kohlenwasserstoffes zunächst unter Verwendung des Reinstoffkältemittelkreislaufs vorgekühlt und anschließend unter Verwendung des Gemischkältemittelkreislaufs zu dem flüssigen Kohlenwasserstoffprodukt verflüssigt wird.

[0014] In die erste Wärmetauscheranordnung werden mehrere Reinstoffkältemittelteilströme des Reinstoffkältemittels auf unterschiedlichen Einspeisedruckniveaus und auf unterschiedlichen Einspeisetemperaturniveaus eingespeist, wobei die Reinstoffkältemittelteilströme durch Entspannen ausgehend von einem gemeinsamen Vorentspannungsdruckniveau und unterschiedlichen Vorentspannungstemperaturniveaus (mit diesen Begriffen werden insbesondere die Druck- bzw. Temperaturniveaus unmittelbar stromauf der Entspannung, die insbesondere mittels geeigneter Ventile erfolgen kann, verstanden) auf die Einspeisedruckniveaus und Einspeisetemperaturniveaus gebracht. Die Vorentspannungstemperaturniveaus sind dabei derart gewählt, dass die Reinstoffkältemittelteilströme auf den Einspeisetemperatur-

niveaus weiterhin in unterkühltem Zustand vorliegen. Mittels des Reinstoffkältemittelkreislaufs wird dabei auch zumindest ein Teil des Gemischkältemittels des Gemischkältemittelkreislaufs abgekühlt.

[0015] Die Vorkühlung des Kohlenwasserstoffes und des Kältemittelgemisches erfolgt dabei insbesondere mittels zwei in Serie geschalteter Wärmetauscher der ersten Wärmetauscheranordnung im Reinstoffkältemittelkreislauf. Wie bereits zuvor mit anderen Worten ausgedrückt, werden diese durch die Einspeisung von unterkühlten Reinstoffkältemittelfractionen bzw. -teilströmen auf unterschiedlichen Verdampfungsdruckstufen, den unterschiedlichen Einspeisetemperaturniveaus, gekühlt. Bis auf die niedrigste Druckstufe werden alle Reinstoffkältemittelfractionen bzw. -teilströme insbesondere durch die Verdampfung der jeweils nächst niedrigeren Reinstoffkältemittelstufe bzw. des entsprechenden Reinstoffkältemittelteilstroms so weit unterkühlt, dass die Reinstoffkältemittelfractionen auch nach ihrer Entspannung in entsprechenden Ventilen unterkühlt vorliegen, wobei ein Umfang der Unterkühlung in vorteilhaften Ausgestaltungen unten angegeben ist.

[0016] Eine kaltseitig der ersten Wärmetauscheranordnung entnommener Teilstrom kann in einer Ausgestaltung, wie auch nachfolgend noch erläutert, ebenfalls noch weiter abgekühlt werden, und zwar unter Verwendung des Gemischkältemittelkreislaufs, so dass auch diese bzw. dieser nach entsprechender Entspannung unterkühlt vorliegt. Die Vorkühlung des Kohlenwasserstoffes sowie des Gemischkältemittels unter Verwendung der ersten Wärmetauscheranordnung bzw. des Reinstoffkältemittels kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere bei überkritischen Zustand erfolgen, um die Notwendigkeit eines Abscheiders zwischen den beiden Wärmetauscheranordnungen zu vermeiden.

[0017] Bei dem in der oben erwähnten DE 10 2009 018 248 A1 beschriebenen Verflüssigungsverfahren, deren Bezugszeichen in diesem Absatz verwendet werden, erfolgen die Abkühlung (in Wärmetauscher E7) und die Verflüssigung (in Wärmetauscher E8) im indirekten Wärmetausch gegen das Kältemittelgemisch eines Gemischkältemittelkreislaufes. Genauer erfolgt die Abkühlung (in Wärmetauscher E7) im Wärmetausch gegen das vollständige verdampfte Gemischkältemittel des Gemischkältemittelkreislaufes. Verdichtetes Gemischkältemittel des Gemischkältemittelkreislaufes wird mittels eines Reinstoffkältemittelkreislaufes (umfassend Wärmetauscher E1 bis E4) vorgekühlt und die Zusammensetzung des Gemischkältemittels und/oder der Verdichtendruck des Gemischkältemittelkreislaufes werden so gewählt, dass das Kältemittelgemisch durch den Reinstoffkältemittelkreislauf vollständig verflüssigt wird. Alternativ dazu führt eine Abkühlung des Gemischkältemittels in den Wärmetauschern E1 bis E4 oberhalb seines kritischen Drucks ebenfalls zu einem einphasigen Zustand stromab des Wärmetauschers E4. Der Reinstoffkältemit-

telkreislauf umfasst u.a. die Behälter D1 bis D5 sowie die Mantelräume der Wärmetauscher E1 bis E4. Das darin enthaltene Inventar an flüssigem Reinstoffkältemittel (typischerweise ein brennbarer Kohlenwasserstoff aus der Gruppe Ethylen, Ethan, Propylen oder Propan) kann ggf. ein Sicherheitsrisiko für die gesamte Anlage darstellen. Die großen Apparate D1 bis D4 und E1 bis E4 werden üblicherweise einzeln auf die Baustelle gebracht und verursachen durch die zeitaufwändige Montage hohe Installationskosten.

[0018] Mit der vorliegenden Erfindung kann der Reinstoffkältemittelkreislauf derart umgestaltet werden, dass ein hohes Maß an Vorfertigung erreicht werden kann und das Flüssiginventar an Kältemittel erheblich reduziert wird.

[0019] Durch die Verwendung von unterkühlten Reinstoffkältemittelströmen bei der Einspeisung in die erste Wärmetauscheranordnung können im Reinstoffkältemittelkreislauf gemäß einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung kompakte Wärmetauscher wie Plattenwärmetauscher ohne Phasentrenner zur Einspeisung der einzelnen Reinstoffkältemittelströme eingesetzt werden.

[0020] Der Platzbedarf einer Plattenwärmetauscherlösung für den Reinstoffkältemittelkreislauf nimmt im Vergleich zu herkömmlichen Lösungen, bei denen Wärmetauscher vom Kettle-Typ verwendet werden, deutlich ab. Genauso sinkt das Kohlenwasserstoffinventar im Reinstoffkältemittelkreislauf bei der beschriebenen Verfahrensführung. Aufgrund des geringeren Kohlenwasserstoffinventars und aufgrund der Tatsache, dass Plattenwärmetauscher normalerweise in Coldboxen mit geschweißten Flanschverbindungen gebaut werden und sich somit potenzielle Leckagemöglichkeiten deutlich reduzieren lassen, kann der gesamte Prozess mit weniger sicherheitstechnischem Aufwand realisiert werden.

[0021] Die in Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung erzielbaren Vorteile lassen sich damit wie folgt zusammenfassen:

- a) Verwendung von kompakten Plattenwärmetauschern als Mehrstromwärmetauscher im Reinstoffkältemittelkreislauf ist möglich.
- b) Keine Phasentrenner an den Plattenwärmetauschern notwendig.
- c) Geringere Anzahl an Wärmetauschern im Reinstoffkältemittelkreislauf.
- d) Geringerer Platzbedarf für den Reinstoffkältemittelkreislauf.
- e) Kein Abscheider für Kältemittelstrom oder Kohlenwasserstoffeinsatz notwendig.
- f) Deutlich geringeres Kohlenwasserstoffinventar im Gesamtprozess.
- g) Geringerer Sicherheitsaufwand, da weniger brennbare und explosive Kohlenwasserstoffe in flüssiger Form in der Anlage vorhanden.

[0022] Alle genannten Vorteile führen zu einer besseren Wirtschaftlichkeit des Gesamtprozesses im Ver-

gleich zu bekannten Verfahren, beispielsweise gemäß US 3,763,658 B2. Der gesamte Energieaufwand nimmt dabei nur leicht zu (weniger als 5%).

[0023] In einer Ausgestaltung der Erfindung wird zumindest ein Teil des Reinstoffkältemittels in der ersten Wärmetauscheranordnung abgekühlt, wobei ein Teil der Reinstoffkältemittelteilströme auf ihren Vorentspannungstemperaturniveaus der ersten Wärmetauscheranordnung entnommen wird. Hierbei können die Reinstoffkältemittelteilströme insbesondere von einem gemeinsamen Strom des Reinstoffkältemittels, der der ersten Wärmetauscheranordnung warmseitig zugeführt wird, abgezweigt werden, und zwar insbesondere über Zwischenentnahmen der hier verwendeten Plattenwärmetauscher und zwischen diesen.

[0024] In einer Ausgestaltung der Erfindung wird ein Teil des in der ersten Wärmetauscheranordnung abgekühlten Reinstoffkältemittels in der zweiten Wärmetauscheranordnung weiter abgekühlt, wobei dem zumindest einer der Reinstoffkältemittelteilströme unter Verwendung des in der zweiten Wärmetauscheranordnung weiter abgekühlten Reinstoffkältemittels auf seinem Vorentspannungstemperaturniveau gebildet wird. Zur besseren Regelbarkeit der Temperatur kann ein Bypass verwendet werden, wie auch in Figur 1 erläutert.

[0025] In einer alternativen Ausgestaltung der Erfindung kann ein Teil des in der ersten Wärmetauscheranordnung abgekühlten Reinstoffkältemittels unter Erhalt eines Zweiphasenstroms entspannt werden, wobei der Zweiphasenstrom unter Erhalt einer Gasphase und einer Flüssigphase einer Phasentrennung unterworfen wird, und wobei die Gasphase und die Flüssigphase anschließend der ersten Wärmetauscheranordnung zugeführt werden. Dies stellt eine Alternative zu einer Abkühlung in der zweiten Wärmetauscheranordnung dar, so dass letztere modifiziert verwendet werden kann. Vorteilhaft ist hier auch die Entkopplung des Reinstoffkältemittelkreislaufs vom Gemischkältemittelkreislauf und die einfachere Bauweise der in letzterem verwendeten Wärmetauscheranordnung.

[0026] In einer Ausgestaltung der Erfindung werden die Reinstoffkältemittelteilströme jeweils in der ersten Wärmetauscheranordnung von dem Einspeisetemperaturniveau auf ein Entnahmetemperaturniveau erwärmt und auf dem Entnahmetemperaturniveau der ersten Wärmetauscheranordnung entnommen. Sie werden bei dieser Erwärmung insbesondere verdampft. Insbesondere schließen die Einspeisetemperaturniveaus und die Entnahmetemperaturniveaus der Reinstoffkältemittelteilströme jeweils Temperaturintervalle ein, wobei die Temperaturintervalle für die Reinstoffkältemittelteilströme einander nicht überlappen. Dies entspricht insbesondere der bereits oben erwähnten Unterkühlung durch die Verdampfung der jeweils nächst niedrigeren Reinstoffkältemitteldruckstufe bzw. des entsprechenden Reinstoffkältemittelteilstroms.

[0027] In Ausgestaltungen der Erfindung werden die Reinstoffkältemittelteilströme nach der Entnahme aus

der ersten Wärmetauscheranordnung gemeinsam einer Verdichtung und Kondensation zugeführt, bevor sie in der ersten Wärmetauscheranordnung unterkühlt werden, wie an sich in einem entsprechenden Reinstoffkältemittelkreislauf bekannt.

[0028] Vorteilhafterweise liegen die Reinstoffkältemittelteilströme auf den Einspeisetemperaturniveaus in um mindestens 3 K unterkühltem Zustand vor, insbesondere in um mindestens 5 K, 7 K oder 10 K unterkühltem Zustand.

[0029] Wie mehrfach angesprochen, können in der ersten Wärmetauscheranordnung (Rippen-) Plattenwärmetauscher verwendet werden.

[0030] Zu der erfindungsgemäß bereitgestellten Anlage und ihren Merkmalen sei auf den entsprechenden unabhängigen Vorrichtungsanspruch und die obigen Erläuterungen bezüglich des erfindungsgemäßen Verfahrens ausdrücklich verwiesen, da diese eine entsprechende Vorrichtung in gleicher Weise betreffen. Entsprechendes gilt insbesondere für eine Ausgestaltung einer entsprechenden Vorrichtung, die vorteilhafterweise zur Ausführung eines entsprechenden Verfahrens in einer beliebigen Ausgestaltung eingerichtet ist.

[0031] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren, die Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung veranschaulichen, weiter erläutert.

[0032] Kurze Beschreibung der Figuren

Figur 1 veranschaulicht ein Verfahren gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung.

Figur 2 veranschaulicht ein Verfahren gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung.

[0033] In der folgenden weiteren Beschreibung werden Verfahren gemäß Ausgestaltungen der Erfindung mit entsprechenden Verfahrensschritten beschrieben. Lediglich der Einfachheit halber, und zur Vermeidung von unnötigen Wiederholungen, werden dabei für Verfahrensschritte und Anlagenkomponenten (beispielsweise einen Abkühlschritt und einen hierzu verwendeten Wärmetauscher) dieselben Bezugszeichen und Erläuterungen verwendet.

Ausführliche Beschreibung der Figuren

[0034] In Figur 1 und 2 sind Verfahren gemäß Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung veranschaulicht, wobei für dieselben oder vergleichbare Komponenten bzw. Verfahrensschritte dieselben Bezugszeichen verwendet und nicht wiederholt erläutert werden. Die Verfahren insgesamt sind jeweils mit 100 bezeichnet.

[0035] Es sind jeweils ein insgesamt mit 10 bezeichneter Reinstoffkältemittelkreislauf mit einer ersten Wärmetauscher E1 und einen zweiten Wärmetauscher E2 aufweisenden Wärmetauscheranordnung ("erste" Wärmetauscheranordnung) und ein insgesamt mit 20 bezeichneter Gemischkältemittelkreislauf mit einer ei-

nen dritten Wärmetauscher E3 und einen vierten Wärmetauscher E4 (bzw. entsprechende Abschnitte eines Rohrbündelwärmetauschers) aufweisenden Wärmetauscheranordnung ("zweite" Wärmetauscheranordnung) dargestellt.

[0036] Über eine Leitung 1 wird ein Kohlenwasserstoffeinsatz, im dargestellten Beispiel Erdgas NG, falls notwendig einem Verdichter C3 zugeführt und insbesondere auf einen überkritischen Zustand verdichtet (siehe Strompunkt 2). Nach Abkühlung in einem Wärmetauscher E9 wird der Kohlenwasserstoffeinsatz (siehe Strompunkt 3) in den Wärmetauschern E1 und E2 der ersten Wärmetauscheranordnung vorgekühlt (siehe Strompunkt 4 und 5) und anschließend an diese Vorkühlung in den Wärmetauschern E3 und E4 der zweiten Wärmetauscheranordnung stark unterkühlt (siehe Strompunkt 6).

[0037] Das Reinstoffkältemittel des Reinstoffkältemittelkreislaufs 10 wird nach Verdichtung in einem Verdichter C1 (siehe Strompunkt 10) in einem Kondensator E5 verflüssigt und einem Pufferbehälter D1 zugeführt (siehe Strompunkt 11). Das flüssige Reinstoffkältemittel (siehe Strompunkt 12) wird anschließend in einem Wärmetauscher E6 unterkühlt und einem Wärmetauscher E1 zugeführt (siehe Strompunkt 13).

[0038] Das komplette Reinstoffkältemittel des Reinstoffkältemittelkreislaufs 10 wird in dargestellten Beispiel dem Wärmetauscher E1 auf dem höchsten Druckniveau (Druckniveau 1) im Reinstoffkältemittelkreislauf unterkühlt (siehe Strompunkt 14). Der erste Teil des Stroms 14 wird über eine Leitung 15 und ein Ventil V1 auf den zweithöchsten Druck im Reinstoffkältemittelkreislauf 10 entspannt (Druckniveau 2, siehe Strompunkt 16) und anschließend im Wärmetauscher E1 vollständig verdampft (siehe Strompunkt 17). Die Unterkühlung des Reinstoffkältemittelstroms 16 erfolgt durch die Verdampfung des Reinstoffkältemittelstroms 22 auf dem nächst niedrigeren Druckniveau, Druckniveau 3.

[0039] Der zweite Teil des Stroms 14 (siehe Strompunkt 20) wird im Wärmetauscher E2 weiter unterkühlt. Ein Teilstrom hiervon wird im dargestellten Beispiel dem Wärmetauscher E2 über eine Leitung 21 entzogen (siehe Strompunkt 21) und in einem Ventil V2 auf das dritthöchste Druckniveau entspannt. Das unterkühlte Reinstoffkältemittel 22 wird anschließend vollständig im Wärmetauscher E1 verdampft, siehe Strompunkt 23. Die Unterkühlung des Reinstoffkältemittels 22 erfolgt durch die Verdampfung des Reinstoffkältemittelstroms 32 auf dem nächst niedrigeren Druckniveau, Druckniveau 4.

[0040] Der restliche Anteil des Reinstoffkältemittelstroms 20 wird im Wärmetauscher E2 wiederum weiter unterkühlt, siehe Strompunkt 30. Ein erster Teilstrom davon (siehe Strompunkt 31) wird in einem Ventil V3 auf das vierte Druckniveau entspannt und unterkühlt in den Wärmetauscher E2 eingespeist, siehe Strompunkt 32. Auch dieser Reinstoffkältemittelstrom wird im Wärmetauscher E2 vollständig verdampft, siehe Strompunkt 33. Die Unterkühlung des Reinstoffkältemittels 32 erfolgt

wiederum durch die Verdampfung des Reinstoffkältemittelstroms 44 auf dem nächst niederen Druckniveau, Druckniveau 5.

[0041] Der Reinstoffkältemittelstrom 40 wird im Wärmetauscher E3, der sich im Gemischkältemittelkreislauf befindet, weiter unterkühlt, siehe Strompunkt 41, 42 und 43. Zur besseren Regelbarkeit der Temperatur kann ein Bypass um den Wärmetauscher E3 vorgesehen werden, siehe Strompunkte 46 und 47 sowie Ventile V5A und V5B. Nach der Entspannung im Ventil V4 wird der Reinstoffkältemittelstrom 44 unterkühlt in den Wärmetauscher E2 eingespeist und anschließend im dargestellten Beispiel auf dem niedrigsten Druckniveau (Druckniveau 5) vollständig verdampft, siehe Strompunkt 45.

[0042] Alle Reinstoffkältemittelströme werden nach der vollständigen Verdampfung auf den einzelnen Druckstufen dem Verdichter C1 zugeführt und auf das höchste Druckniveau verdichtet. Aufgrund der Verwendung von unterkühlten Reinstoffkältemittelströme bei der Einspeisung in die Wärmetauscher E1 und E2 (siehe Strompunkt 16, 22, 32 und 44) können im Reinstoffkältemittelkreislauf kompakte Wärmetauscher, wie Plattenwärmetauscher ohne Phasentrenner, zur Einspeisung der einzelnen Reinstoffkältemittelströme eingesetzt werden, wie bereits erwähnt. Dabei ist zu beachten, dass in anderen als dem hier beschriebenen Verfahren Kältemittelströme sehr oft zweiphasig mit Hilfe von Phasentrennern in die Plattenwärmetauscher eingespeist werden. Die Verwendung von Phasentrennern erlaubt dabei eine gezielte und kontrollierbare Verteilung der Flüssig- und Gasphase auf die Wärmetauscher und verhindert dadurch Fehlverteilungen und damit einhergehende thermische und mechanische Spannung. Jedoch benötigen diese Phasentrenner viel Platz und speichern in der Regel einen großen Anteil des flüssigen Kohlenwasserstoffinventars des gesamten Kältemittelkreislaufes. Auf den Einsatz von Phasentrennern kann bei dem hier vorgestellten Verfahren verzichtet werden. Der Platzbedarf einer derartig ausgeführten Plattentauscherlösung als Reinstoffkältemittel-Kreislauf nimmt dementsprechend im Vergleich zu herkömmlichen Kettle-Typ-Lösungen deutlich ab. Genauso sinkt das Kohlenwasserstoffinventar im Reinstoffkältemittel-Kreislauf bei der beschriebenen Verfahrensführung erheblich. Aufgrund des geringeren Kohlenwasserstoffinventars und aufgrund der Tatsache, dass Plattentauscher normalerweise in Coldboxen mit geschweißten Flanschverbindungen gebaut werden und sich somit potenzielle Leckagemöglichkeiten deutlich reduzieren lassen, kann der gesamte Prozess mit weniger sicherheitstechnischem Aufwand gebaut werden, wie bereits oben ausgeführt.

[0043] Der gesamte Kältemittelgemischstrom 50 wird in den beiden Verdichtern C2A und C2B sowie den entsprechenden Nachkühlern E7 und E8 auf einen überkritischen Zustand verdichtet und nachgeköhlt, siehe Strompunkt 51, 52, 53 und 54. Ähnlich wie bei der kohlenwasserstoffreichen Fraktion wird auch der Kältemittelgemischstrom in den Wärmetauschern E1 und E2 vor-

gekühlt und anschließend in den Wärmetauscher E3 eingespeist. Ein Abscheider vor der Einspeisung des Kältemittelgemischstrom 56 in den Wärmetauscher E3 wird nicht benötigt, da der Kältemittelgemischstrom 56 überkritisch vorliegt.

[0044] Fehlverteilungen aufgrund einer zweiphasigen Einspeisung des Kältemittelgemischstroms 56 oder eine separate Einspeisung einer Gasphase oder Flüssigkeit müssen nicht berücksichtigt werden. Somit können das Kohlenwasserstoff-Inventar und der Platzbedarf des Gemischkältemittelkreislaufs ähnlich wie beim Reinstoffkältemittelkreislauf reduziert werden. Der Kältemittelgemischstrom 56 wird in den Wärmetauschern E3 und E4 stark abgeköhlt, siehe Strompunkt 57. Nach der Entspannung im Ventil V6 wird das zweiphasige Kältemittelgemisch als Kältemittel in den Wärmetauschern E4 und E3 verwendet. Nach der vollständigen Verdampfung wird der gesamte Kältemittelgemischstrom 50 überhitzt zum Kältemittelgemisch-Verdichter C2A und C2B zurückgeführt.

[0045] Die in Figur 2 veranschaulichte Prozessführung weist Gemeinsamkeiten mit dem soeben beschriebenen Verfahren auf. Im Folgenden werden deshalb nur die Unterschiede beschrieben.

[0046] In der in Figur 2 veranschaulichten Alternative wird der Reinstoffkältemittelstrom 40 nicht im Wärmetauscher E3 im Gemischkältemittelkreislauf unterkühlt, sondern nach der direkten Entspannung im Ventil V4 als Zweiphasenstrom in den Wärmetauscher E2 eingespeist. Der Reinstoffkältemittelstrom 44 muss bei der Verwendung von Plattenwärmetauschern aber vorher in dem Phasentrenner D2 in eine Gasphase und Flüssigphase getrennt werden. So kann gewährleistet werden, dass der Zweiphasenstrom 44 kontrolliert durch die Aufteilung in die Ströme 44A und 44B in den Wärmetauscher E2 eingespeist wird. Fehlverteilungen und thermische Spannungen am Wärmetauscher E2 können so minimiert werden.

[0047] Nachteil dieser Alternative liegt im erhöhten flüssigen Kohlenwasserstoffinventar im Reinstoffkältemittel-Kreislauf. Vorteilhaft ist aber die Entkopplung des Reinstoffkältemittel-Kreislauf vom Kältemittelgemisch-Kreislauf und die einfachere Bauweise des Wärmetauschers E3, wie bereits oben erwähnt.

Patentansprüche

1. Verfahren (100) zur Erzeugung eines flüssigen Kohlenwasserstoffprodukts (LNG) unter Verwendung eines gasförmigen Kohlenwasserstoffeinsatzes (NG), bei dem

- ein mit einem Reinstoffkältemittel betriebener Reinstoffkältemittelkreislauf (10), der eine erste Wärmetauscheranordnung (E1, E2) aufweist, und ein mit einem Gemischkältemittel betriebener Gemischkältemittelkreislauf (20), der eine

- zweite Wärmetauscheranordnung (E3, E4) aufweist, bereitgestellt werden,
- zumindest ein Teil des Kohlenwasserstoffeinsatzes (NG) zunächst unter Verwendung des Reinstoffkältemittelkreislaufs (10) vorgekühlt und anschließend unter Verwendung des Gemischkältemittelkreislaufs (20) zu dem flüssigen Kohlenwasserstoffprodukt (LNG) verflüssigt wird,
 - in die erste Wärmetauscheranordnung (E1, E2) mehrere Reinstoffkältemittelteilströme (16, 22, 32, 44) des Reinstoffkältemittels auf unterschiedlichen Einspeisedruckniveaus und auf unterschiedlichen Einspeisetemperaturniveaus eingespeist werden,
 - die Reinstoffkältemittelteilströme (16, 22, 32, 44) durch Entspannen ausgehend von einem gemeinsamen Vorentspannungsdruckniveau und unterschiedlichen Vorentspannungstemperaturniveaus auf die Einspeisedruckniveaus und Einspeisetemperaturniveaus gebracht werden, und
 - die Vorentspannungstemperaturniveaus derart gewählt sind, dass die Reinstoffkältemittelteilströme (16, 22, 32, 44) auf den Einspeisetemperaturniveaus in unterkühltem Zustand vorliegen.
2. Verfahren (100) nach Anspruch 1, bei dem zumindest ein Teil des Reinstoffkältemittels in der ersten Wärmetauscheranordnung (E1, E2) abgekühlt wird, und bei dem ein Teil der Reinstoffkältemittelteilströme (16, 22, 32) auf ihren Vorentspannungstemperaturniveaus der ersten Wärmetauscheranordnung (E1, E2) entnommen wird.
3. Verfahren (100) nach Anspruch 2, bei dem ein Teil des in der ersten Wärmetauscheranordnung (E1, E2) abgekühlten Reinstoffkältemittels in der zweiten Wärmetauscheranordnung (E3, E4) weiter abgekühlt wird, und bei dem zumindest einer der Reinstoffkältemittelteilströme (44) unter Verwendung des in der zweiten Wärmetauscheranordnung (E3, E4) weiter abgekühlten Reinstoffkältemittels auf seinem Vorentspannungstemperaturniveau gebildet wird.
4. Verfahren (100) nach Anspruch 2, bei dem ein Teil des in der ersten Wärmetauscheranordnung (E1, E2) abgekühlten Reinstoffkältemittels unter Erhalt eines Zweiphasenstroms entspannt wird, wobei der Zweiphasenstrom unter Erhalt einer Gasphase und einer Flüssigphase einer Phasentrennung (D2) unterworfen wird, und wobei die Gasphase und die Flüssigphase anschließend der ersten Wärmetauscheranordnung (E1, E2) zugeführt werden.
5. Verfahren (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Reinstoffkältemittelteilströme (16, 22, 32, 44) jeweils in der ersten Wärmetauscheranordnung (E1, E2) von dem Einspeisetemperaturniveau auf ein Entnahmetemperaturniveau erwärmt und auf dem Entnahmetemperaturniveau der ersten Wärmetauscheranordnung (E1, E2) entnommen werden.
6. Verfahren (100) nach Anspruch 5, bei dem die Einspeisetemperaturniveaus und die Entnahmetemperaturniveaus der Reinstoffkältemittelteilströme (16, 22, 32, 44) jeweils Temperaturintervalle einschließen, wobei die Temperaturintervalle für die Reinstoffkältemittelteilströme (16, 22, 32, 44) einander nicht überlappen.
7. Verfahren (100) nach Anspruch 5 oder 6, bei dem die Reinstoffkältemittelteilströme (16, 22, 32, 44) nach der Entnahme aus der ersten Wärmetauscheranordnung (E1, E2) gemeinsam einer Verdichtung (C1) und Kondensation zugeführt werden, bevor sie in der ersten Wärmetauscheranordnung (E1, E2) unterkühlt werden.
8. Verfahren (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Reinstoffkältemittelteilströme (16, 22, 32, 44) auf den Einspeisetemperaturniveaus in um mindestens 3 K unterkühltem Zustand vorliegen.
9. Verfahren (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem in der ersten Wärmetauscheranordnung (E1, E2) Plattenwärmetauscher verwendet werden.
10. Anlage zur Erzeugung eines flüssigen Kohlenwasserstoffprodukts (LNG) unter Verwendung eines gasförmigen Kohlenwasserstoffeinsatzes (NG), die
- einen für einen Betrieb mit einem Reinstoffkältemittel eingerichteten Reinstoffkältemittelkreislauf (10), der eine erste Wärmetauscheranordnung (E1, E2) aufweist, und einen für einen Betrieb mit einem Gemischkältemittel eingerichteten Gemischkältemittelkreislauf (20), der eine zweite Wärmetauscheranordnung (E3, E4) aufweist, umfasst,
- wobei die Anlage Mittel aufweist, die dafür eingerichtet sind,
- zumindest einen Teil des Kohlenwasserstoffeinsatzes (NG) zunächst unter Verwendung des Reinstoffkältemittelkreislaufs (10) vorzukühlen und anschließend unter Verwendung des Gemischkältemittelkreislaufs (20) zu dem flüssigen Kohlenwasserstoffprodukt (LNG) zu verflüssigen,

- in die erste Wärmetauscheranordnung (E1, E2) mehrere Reinstoffkältemittelteilströme (16, 22, 32, 44) des Reinstoffkältemittels auf unterschiedlichen Einspeisedruckniveaus und auf unterschiedlichen Einspeisetemperaturniveaus einzuspeisen, 5
- die Reinstoffkältemittelteilströme (16, 22, 32, 44) durch Entspannen ausgehend von einem gemeinsamen Vorentspannungsdruckniveau und unterschiedlichen Vorentspannungstemperaturniveaus auf die Einspeisedruckniveaus und Einspeisetemperaturniveaus zu bringen werden, 10

und wobei 15

- die Vorentspannungstemperaturniveaus derart gewählt sind, dass die Reinstoffkältemittelteilströme (16, 22, 32, 44) auf den Einspeisetemperaturniveaus in unterkühltem Zustand vorliegen. 20

11. Anlage nach Anspruch 10, die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 eingerichtet ist. 25

30

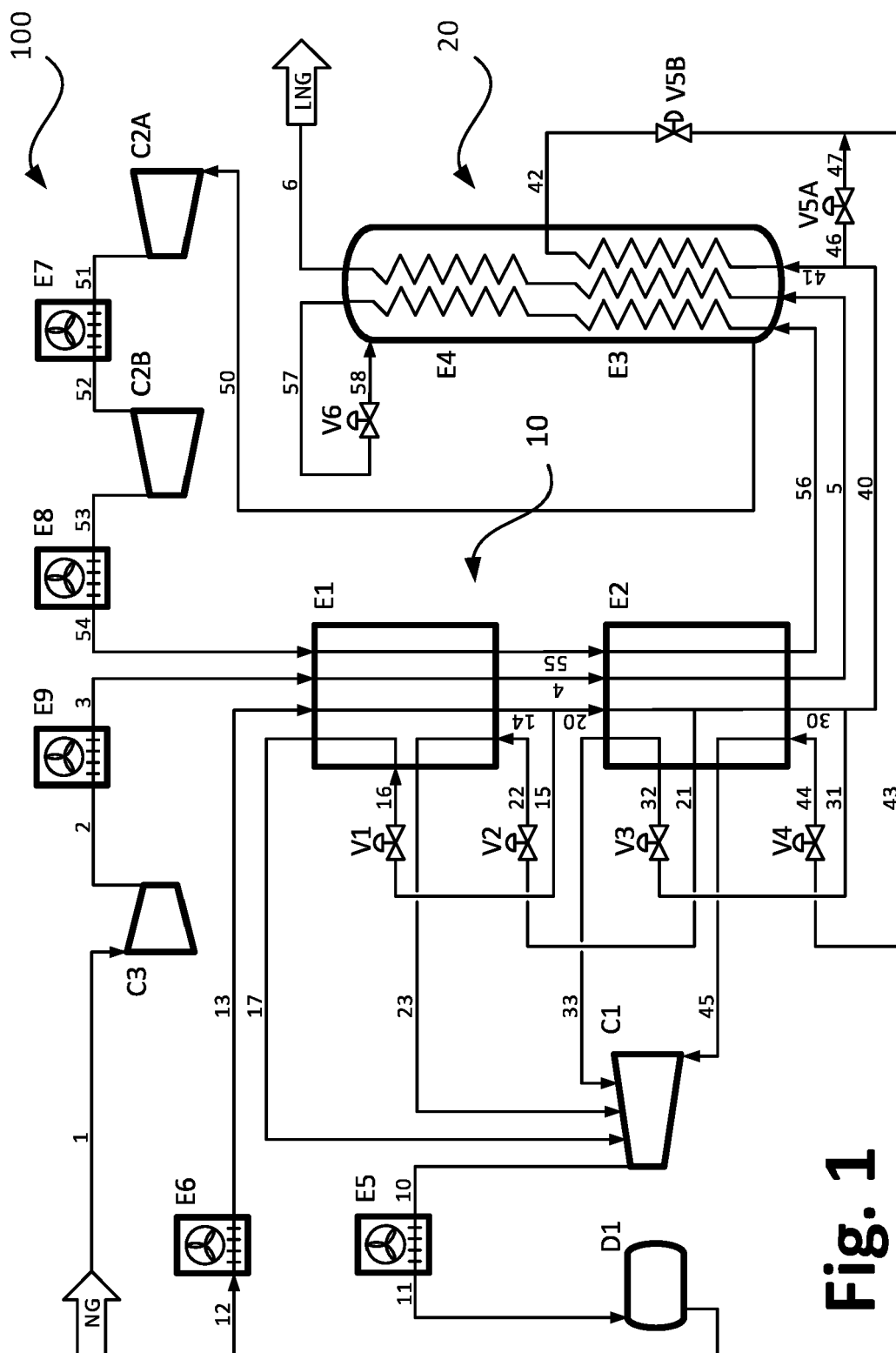
35

40

45

50

55



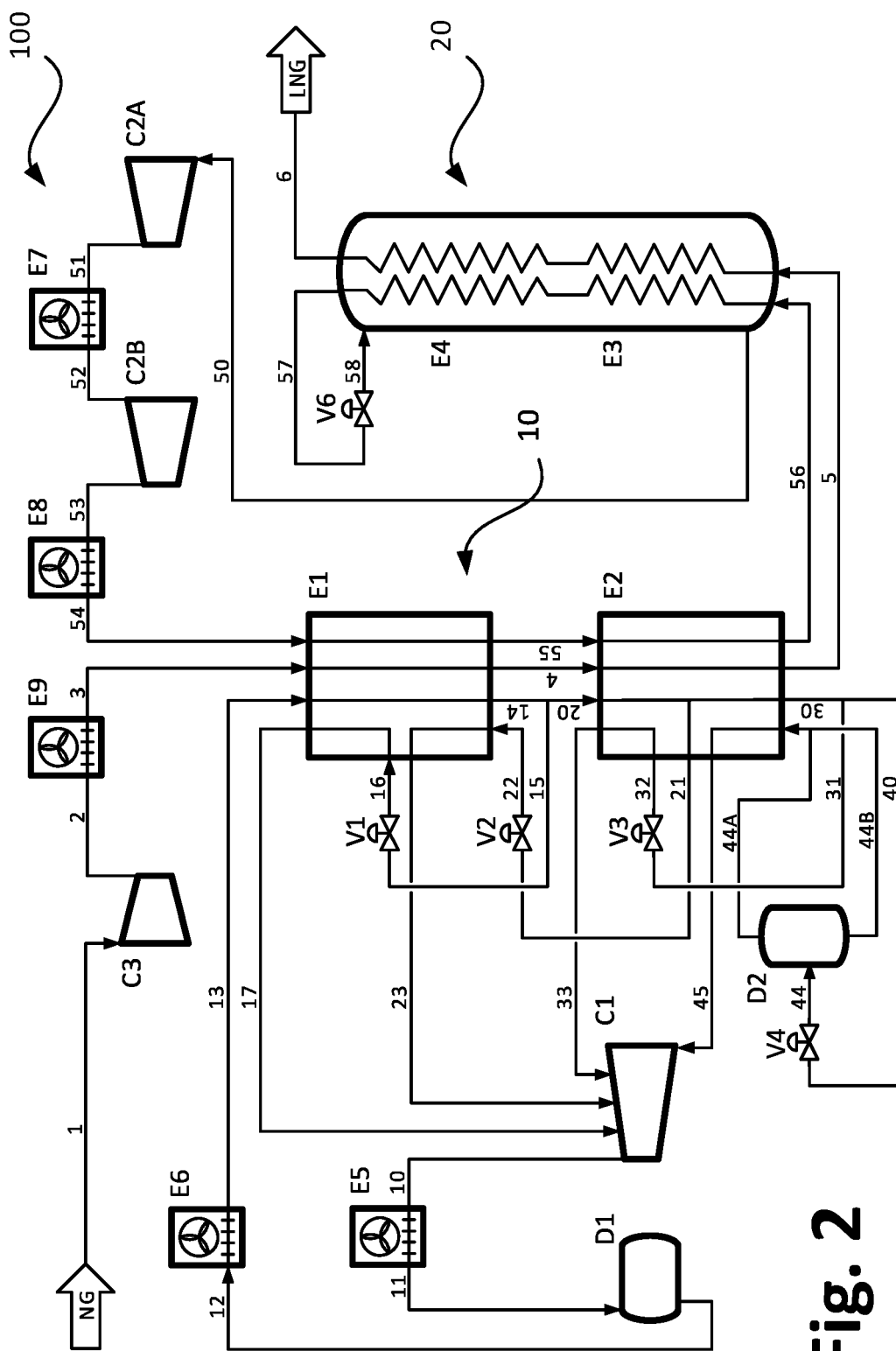


Fig. 2



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 02 0072

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)
A	JUSTEIN PETERSEN ET AL: "C02 as Precooling Refrigerant in Floating LNG Production Plants", AICHE SPRING MEETING. NATURAL GAS UTILIZATION,, 25. April 2004 (2004-04-25), Seiten 490-497, XP009103332, * Abbildung 2 * -----	1-11	INV. F25J1/00
A	WO 2008/019999 A2 (SHELL INT RESEARCH [NL]; JAGER MARCO DICK [NL] ET AL.) 21. Februar 2008 (2008-02-21) * Abbildung 1 * -----	1-11	
A	EP 2 199 716 A2 (AIR PROD & CHEM [US]) 23. Juni 2010 (2010-06-23) * Abbildung 1 * -----	1-11	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F25J
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 13. August 2022	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 0072

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.

13-08-2022

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2008019999 A2	21-02-2008	AU 2007286291 A1	21-02-2008
		US 2010223951 A1	09-09-2010
		WO 2008019999 A2	21-02-2008
EP 2199716 A2	23-06-2010	AU 2009245831 A1	01-07-2010
		BR PI0904895 A2	15-03-2011
		CA 2687673 A1	12-06-2010
		CN 101845340 A	29-09-2010
		EP 2199716 A2	23-06-2010
		JP 2010189622 A	02-09-2010
		KR 20100068194 A	22-06-2010
		PE 20100569 A1	20-08-2010
		RU 2009146074 A	20-06-2011
		TW 201027018 A	16-07-2010
		US 2010147024 A1	17-06-2010

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

- US 3763658 B2 [0003] [0022]
- DE 102009018248 A1 [0004] [0017]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Natural Gas. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 15. Juli 2006 [0002]
- Liquefied Natural Gas (LNG). *Advanced Natural Gas Engineering*. Gulf Publishing Company, 2010 [0002]