

(19)



(11)

EP 3 658 816 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

06.10.2021 Patentblatt 2021/40

(51) Int Cl.:

F17C 9/02^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **17816399.4**

(86) Internationale Anmeldenummer:

PCT/DE2017/000352

(22) Anmeldetag: **19.10.2017**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

WO 2019/020135 (31.01.2019 Gazette 2019/05)

(54) KÄLTEVERSORGUNGSANLAGE, GEKOPPELT AN DIE REGASIFIZIERUNGSEINRICHTUNG EINES LIQUIFIED NATURAL GAS TERMINALS

REFRIGERATION SUPPLY PLANT COUPLED TO REGASIFICATION APPARATUS OF A LIQUEFIED NATURAL GAS TERMINAL

INSTALLATION DE PRODUCTION DE FROID ACCOUPLÉE AU DISPOSITIF DE REGASIFICATION D'UN TERMINAL DE GAZ NATUREL LIQUIFIÉ

(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

(74) Vertreter: **Kraft, Werner**

**Patentanwalt
Neuer Weg 12
04600 Altenburg (DE)**

(30) Priorität: **25.07.2017 DE 102017007009**

(56) Entgegenhaltungen:

**EP-A1- 0 048 316 WO-A1-2008/012286
US-A1- 2010 313 578 US-B2- 6 367 429**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
03.06.2020 Patentblatt 2020/23

(73) Patentinhaber: **REGASCOLD GmbH
04316 Leipzig (DE)**

- **ANGELINO G ET AL: "Carbon dioxide power cycles using liquid natural gas as heat sink", APPLIED THERMAL ENGINEERING, PERGAMON, OXFORD, GB, Bd. 29, Nr. 14-15, 16. März 2009 (2009-03-16), Seiten 2935-2941, XP026337199, ISSN: 1359-4311, DOI: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2009.03.003 [gefunden am 2009-03-16]**

(72) Erfinder:

- **BRAUN, Rainer
45721 Haltern am See (DE)**
- **OTTO, Peter
04779 Wermsdorf (DE)**
- **BIHL, Lothar
88348 Bad Saulgau (DE)**

EP 3 658 816 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Anwendungsgebiet

[0001] Die Erfindung betrifft eine Anlage zur Kälteversorgung, die an die LNG (Liquified Natural Gas)- Regasifizierungseinrichtung eines LNG Terminals gekoppelt ist und die hier zur Verfügung stehende hochwertige, niedrigtemperierte Kälteleistung nutzt.

[0002] Die Bereitstellung entsprechend großer Kälteleistungen an sowohl nahliegende als auch fern- und verzweigt liegende Bedarfsstellen erfolgt energieeinsparend, kostensparend und versorgungssicher.

Stand der Technik

[0003] Erdgas lässt sich unter atmosphärischem Druck nach Abkühlung auf -162°C und anschließender Abfuhr der Kondensationswärme aus der gasförmigen in die flüssige Phase überführen. Damit ist die Reduktion des Volumens auf das Sechshundertstel des bei $1,013\text{ bar}$ und 15°C gegebenen Wertes verbunden. Verflüssigtes Erdgas ist somit auf attraktive Weise lagerbar und über große Strecken transportierbar. Die zu realisierende, gleichermaßen kostenaufwändige wie wertschöpfende Prozesskette reicht von der Förderung und Aufbereitung über die Verflüssigung, die Lagerung, den Ferntransport mit Tankschiffen, die erneute Lagerung in Großtanks und den nochmaligen Transport zum Verwenden.

[0004] Den Abschluss bildet die Regasifizierung, die im Bereich der Großtanks in sogenannten Terminals, oder auch beim Verwender in sogenannten Satellitenanlagen erfolgt.

[0005] Die bei der Regasifizierung des LNG auf tiefem Temperaturniveau zuzuführende Wärme besitzt ein hohes, als Kälteleistung nutzbares exergetisches Potential, das jedoch weltweit nahezu vollständig ungenutzt bleibt.

[0006] Die für die Regasifizierung benötigte Wärme in den Satellitenanlagen, die relativ kleine LNG- Mengen lagern, wird aus der Umgebungsluft bezogen und große Terminals nutzen Meerwasser als Wärmequelle, oft sogar fügen sie mit Hilfe eingetauchter Brenner eine Energie verschwendende Erdgasverbrennung zur Unterstützung hinzu. Zwei Gründe sind für diesen, das Kältepotential unbeachtet lassenden Stand der Technik anzuführen.

[0007] Erstens: Angesichts der gewaltigen, mit dem LNG verfügbaren Brennstoffenergie findet die zusätzlich verfügbare Kälteleistung, deren energetischer Umfang deutlich kleiner ist, keine Beachtung. Diese Relativierung ist jedoch zu verwerfen, denn absolut gesehen ist offensichtlich weltweit ein großer Bedarf an hochwertiger Kälteleistung vorhanden, deren bisherige, mit Hilfe elektrischer Energie umwelt- und ressourcenbelastend erfolgende Erzeugung bei deutlich geringeren Kosten substituiert werden kann.

[0008] Zweitens: Eine bei der LNG- Regasifizierung

vom Temperaturniveau -162°C ausgehende Auskoppelung von Kälteleistung stellt hohe Anforderungen an den Kälteträger, der einerseits hohe Kälteleistungen über meist große Distanzen übertragen muss und der andererseits den tiefen Temperaturen standhalten muss, ohne vom flüssigen in den festen Aggregatzustand überzugehen.

[0009] Die Überwindung dieser Restriktionen ist das Ziel der vorliegenden Erfindung, welche zurückgreifend auf verfügbare Detaillösungen eine Kälteversorgungsanlage betrifft, die gekoppelt an die Regasifizierung eines großen LNG Terminals in innovativer Weise hochwertige Kälteleistung energieeinsparend, kostensparend und versorgungssicher bereitstellt.

[0010] Die Gefahr, dass in den LNG- Regasifizierungseinrichtungen großer Terminals der wärmeabgebende Stoffstrom im Kontakt mit dem LNG bis zu Erstarrung abkühlt, hat zur Verwendung eines Zwischenmediums geführt, das heißt zu einem sogenannten "Intermediate Fluid Type Vaporizer", in dem die Wärme kaskadenartig zunächst an ein Fluid übertragen wird, welches einerseits niedriger temperiert ist als die Wärmequelle und andererseits bei der Abkühlung in die Nähe der LNG- Temperatur weit entfernt ist von der Bildung einer festen Phase.

[0011] Dies ist der Stand der Technik, der in zahlreichen Patentpublikationen dokumentiert ist, beispielsweise in der EP 0048316A "Verfahren und Anlage zur Rückverdampfung von flüssigem Erdgas" und in der US 6367429 "Intermediate fluid type vaporizer", wobei als Zwischenmedium Propan empfohlen wird, das im Naturumlauf die Regasifizierungswärme überträgt. Die dargestellte Technik bezieht sich in allen publizierten Erfindungen auf eine mehr als 40 Jahre zurückliegende und unter US 4170115A "Apparatus and process for vaporizing liquefied natural gas" veröffentlichte Entwicklung.

[0012] Ferner ist allen Publikationen gemeinsam, dass sie sich auf die Regasifizierung unter Verwendung von Meerwasser als Wärmequelle beschränken, während die mögliche Nutzung der verfügbaren Kälteleistung unbeachtet bleibt.

[0013] Eine Ausnahme, nämlich eine effektive Lösung zur Rückgewinnung von Kälte bei der Regasifizierung tiefkalter Flüssigkeiten, wie verflüssigtes Erdgas (LNG), verflüssigter Stickstoff (LN₂) oder verflüssigter Sauerstoff (LO₂), ist im deutschen Gebrauchsmuster DE 20 2015 008 836 und gleichzeitig in der deutschen Offenlegungsschrift DE 10 2016 006 121 "Verfahren und Wärmeaustauscher zur Rückgewinnung von Kälte bei der Regasifizierung tiefkalter Flüssigkeiten" angegeben. Sie betrifft allerdings nur kleine Leistungen bis 100 kW, wie sie beispielsweise in Satellitenanlagen zur Verfügung stehen. Es wird vorgeschlagen, die Kälte der tiefkalten Flüssigkeit zunächst auf ein Zwischenmedium, nämlich Propan, und anschließend von diesem auf einen flüssigen Kälteträger zu übertragen. Der eingesetzte Kälteträger bleibt dabei bis hinab zu einem Temperaturniveau von -60°C ohne Phasenwechsel. Er ist somit sicher

pumpbar. Die Wärmeübertragung erfolgt durch Verdampfen und Kondensieren ohne Pumpeneinsatz im Naturumlauf in einem Wärmeaustauscher mit speziellen Konstruktionsmerkmalen.

[0014] Die Temperatur des vorgeschlagenen Zwischenmediums Propan ist im Bereich von -20°C bis -100°C durch die Konzipierung der Wärmeübertragung und der sie treibenden Temperaturdifferenzen frei wählbar. Der Wärmeaustauscher weist folgende technische Merkmale auf:

- Verwendung eines Behälters in Vertikalausrichtung, bestehend aus einem Zylinder mit einem oberen und einem unteren Klöpperboden, der ganzheitlich mit einer Isolierung ummantelt ist,
- Anordnung einer Rohrwendel im Bereich des oberen Klöpperbodens und einer Rohrwendel im Bereich des unteren Klöpperbodens bei Einhaltung eines Abstandes zwischen den Rohrwendeln,
- Befüllung des hermetisch geschlossenen Behälters mit dem dadurch gekapseltem Zwischenmedium zum Zweck des Wärmetransports innerhalb des Behälters mit einem Füllstand zwischen der oberen Rohrwendel und der unteren Rohrwendel, wobei die untere Rohrwendel bei jedem Betriebszustand mit flüssigem Zwischenmedium im Siedezustand geflutet ist, während die obere Rohrwendel von Satt-dampf umgeben ist, der im Betrieb bei Wärmeabgabe an der Rohrwendel kondensiert,
- Realisierung des Wärmetransports vom kondensierenden Zwischenmedium an die zu regasifizierende tiefkalte Flüssigkeit durch Zu- und Abfluss der Selben über die obere Rohrwendel,
- Realisierung des Wärmetransports vom zu kühlenden Kälteträger an das flüssige Zwischenmedium durch Zu- und Abfluss des Kälteträgers über die untere Rohrwendel.

[0015] Unbefriedigend im Hinblick auf die der vorliegenden Erfindung zu Grunde liegenden Aufgabe, nämlich die in großen Terminals verfügbare Kälteleistung zurückzugewinnen, sind die auf kleine Anlagen zugeschnittene Technik der Wärmeübertragung mit Kälteleistungen unterhalb 100 kW und der verwendete kostenaufwändige Kälteträger, der für die Kälteversorgung mit großen Übertragungsleistungen und über große Übertragungstrecken ungeeignet ist.

[0016] Der vorbeschriebene Stand der Technik ist als naheliegend für die erfinderische Zielstellung zu betrachten, nämlich die kostengünstige und energieeinsparende Bereitstellung großer Kälteleistungen aus der LNG- Regasifizierungseinrichtung großer Liquefied Natural Gas Terminals bei hoher Versorgungssicherheit.

Aufgabenstellung

[0017] Die erfinderische Aufgabenstellung ist in der Entwicklung von apparativen Merkmalen in Bezug auf

eine Anlage zur sicheren Kälteversorgung sowohl naheliegender als auch fernliegender Bedarfsstellen zu sehen, die an die LNG- Regasifizierungseinrichtung eines großen, beispielsweise eines LNG importierenden Terminals, gekoppelt ist und auf diese Weise die sonst erforderliche, ressourcen- und umweltbelastend elektrische Energie verbrauchende Kälteerzeugung kostengünstig substituiert.

10 Lösung der Aufgabenstellung

[0018] Die Lösung der Aufgabenstellung ist im Patentspruch 1 angegeben.

[0019] Die untergeordneten Ansprüche enthalten zweckmäßige Ausgestaltungen.

[0020] Das Ziel der Erfindung ist es, die in LNG- Terminals für die Regasifizierung des LNG benötigte Wärme aus verfügbaren Kältebedarfsstellen abzuführen und so als wertvolle Kälteleistung zu nutzen. Voraussetzung hierfür ist die Lösung zwei gewichtiger Probleme.

[0021] Erstens, es sind große Kälteleistungen, beispielsweise 1 MW, versorgungssicher und kostengünstig an nahliegende, an fernliegende und an weit verzweigt liegende Kältebedarfsstellen zu transportieren.

[0022] Zweitens stellt das tiefe Temperaturniveau des LNG, das bis hinab zu -162°C betragen kann, hohe Anforderungen an die Kaltzähigkeit der Werkstoffe, an die Beherrschung großer örtlicher und zeitlicher Temperaturdifferenzen in den Anlagenbauteilen und an die Fließfähigkeit des als Kälteträger dienenden Wärmeübertragungsfluids, welches allerdings, berücksichtigt man den einem LNG- Terminal praktischerweise zuzuordnenden Kältebedarf, beispielsweise den eines Kühlhauses, nicht tiefer als -50°C temperiert werden muss.

[0023] Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, als Kälteträger CO_2 zu verwenden, und zwar, was dessen Abkühlung durch die Wärmeabgabe an das LNG und dessen Wärmeaufnahme an der Kältebedarfsstelle betrifft, ausschließlich im Zustand einer unterkühlten Flüssigkeit. Dies hat im Vergleich zu den bisher bekannten, mit Phasenwechseln betriebenen CO_2 - Anwendungen den Vorteil der wesentlich einfacheren Realisierung langer Kälteträgertransportwege und damit auch den Vorteil der kostengünstigeren Anlagentechnik.

[0024] Die tiefste zulässige Temperatur des in einem geschlossenen Kreislauf geführten Kälteträgers CO_2 wird angesichts seiner Tripelpunktkoordinaten 5,19 bar und $-56,6^{\circ}\text{C}$ mit -50°C festgelegt, was einerseits ausreichende Sicherheit gegen die Bildung einer festen Phase, und andererseits bezüglich der Kälteversorgung ein ausreichend tiefes Temperaturniveau bietet. Die notwendige Einhaltung dieses Temperaturwertes wird durch diversitär redundante anlagentechnische und regelungstechnische Maßnahmen sichergestellt.

[0025] Flüssiges CO_2 , beispielsweise im Zustand -50°C und 10,0 bar, verfügt über sehr gute Stoffwerte Dichte, spezifische Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit und Viskosität, so dass sich entsprechend effektive Wär-

meübergänge ergeben und die Umwälzung im Kälte­trägerkreislauf eine nur geringe Pumpleistung erfordert. Weitere wichtige Vorteile des CO₂ sind: Es ist chemisch inaktiv, nicht korrosiv, nicht brennbar und insgesamt umweltverträglich. Dies begründet, dass die an die Regasifizierungseinrichtung des LNG- Terminals gekoppelte Kälteversorgung die Kälte wesentlich kostengünstiger bereitstellen kann als die konventionelle elektrisch angetriebene Verdichter­kältemaschine.

[0026] Erfindungsgemäß werden mehrere Maßnahmen zur Sicherstellung einer die vorgegebenen Betriebsdaten einhaltenden, störungsfreien Kälteversorgung vorgeschlagen.

[0027] Zur Abwendung der Gefahr, dass das CO₂ in die feste Phase übergeht und nicht mehr pumpbar ist, dient vorrangig die Verwendung des Zwischenmediums Propan, das in einem geschlossenen Kreislauf per Naturumlauf auf einem sicheren mittleren Temperaturniveau in einem Zwischenmediumverdampfer verdampfend die Wärme aus dem Kälte­träger übernimmt, um sie dann in einem Zwischenmediumkondensator an das LNG zu übertragen. Hierfür werden zwei übereinander angeordnete, horizontal ausgerichtete tieftemperaturtaugliche Rohrbündelwärmeaustauscher benutzt, in deren Rohren der Kälte­träger seine Wärme abgibt, bzw. das LNG die Wärme aufnimmt, und zwischen denen zur Sicherstellung des Naturumlaufes die im Gleichgewicht befindlichen Phasen, Propan als Satt­dampf und Propan im Siedezustand, getrennt und in großzügig dimensionierten Leitungen mit minimalen Druckverlusten transportiert werden. Zur Konstanthaltung der Temperatur im siedenden und kondensierenden Propan auf einem sicheren mittleren Niveau, dient eine Drucküberwachung des Zwischenmediums. Dessen Druck wird mit Hilfe einer computergestützten Anlagensteuerung und einem LNG- Drosselventil, das als Stellglied den LNG- Fluss und damit die Wärmeübertragung im Zwischenmediumkondensator bestimmt, auf den Sollwert 0,611 bar geregelt, was gemäß der Propan-Dampfdruckkurve mit der Temperatur -55°C korreliert.

[0028] Dass sich der Kälte­träger durch die Wärmeabgabe an das Zwischenmedium möglichst tief, aber nicht unter den minimal zulässigen Wert -50°C abkühlt, wird regelungstechnisch zusätzlich, und zwar diversitär redundant, durch die Erfassung der Temperatur an der Stelle der tiefsten Abkühlung, das heißt am Ausgang des Zwischenmediumverdampfers erreicht. Auch hier erfolgt die Regelung mit Hilfe der Anlagensteuerung und dem LNG- Drosselventil, das als Stellglied den LNG-Durchfluss und damit die aus dem Wärmeübergang an das LNG resultierende Abkühlung des Kälte­trägers bestimmt.

[0029] Die Erfassung des Druckes des Zwischenmediums dient ferner auch der Absicherung einer eventuellen Undichtigkeit im Wärmeübertragungssystem Kälte­träger - Zwischenmediumverdampfer - Propanverbindungsleitungen - Zwischenmediumkondensator - LNG. Mit den Komponenten Drucküberwachung, computerge-

stützte Anlagensteuerung und LNG- Drosselventil steht eine sicherheitstechnische Einrichtung zur Verfügung, die eine eventuelle Leckage aus den LNG oder CO₂ transportierenden Rohren in die das Zwischenmedium Propan enthaltenen Räume detektiert, nämlich in die Mantelräume der beiden Rohrbündelwärmeaustauscher und in die Propanverbindungsleitungen.

[0030] Als Gegenmaßnahme wird die LNG- Zufuhr und der Betrieb der Kälte­trägerpumpe unterbrochen. Eine zusätzliche Funktion der Drucküberwachung ist es schließlich, aus der Höhe des festgestellten Druckanstiegs zu identifizieren, ob die Leckage eindringendes LNG betrifft, welches üblicherweise vor der Regasifizierung auf den für die Erdgasnutzung erforderlichen hohen, meist überkritischen Druck gepumpt wird, oder eindringendes CO₂, dessen Druck trotz des Zustandes einer unterkühlten Flüssigkeit deutlich geringer ist.

[0031] Eine weitere Drucküberwachung betrifft schließlich die typisch hohe Drucklage des CO₂ im gesamten Kälte­trägerkreislauf, der zunächst zu erläutern ist.

[0032] Das unterkühlte CO₂ wird mittels einer Kälte­trägerpumpe in einem geschlossenen aus gut isolierten Rohrleitungen bestehenden Kreislauf umgewälzt, wobei es im Zwischenmediumverdampfer unter Wärmeabgabe an das Zwischenmedium bis -50°C abkühlt, dann in unterkühltem Zustand bis an die zu versorgende, gegebenenfalls fernliegende Kälte­bedarfsstelle gelangt, um sich hier durch Wärmeaufnahme, was der Kälte­leistung entspricht, bis in die Nähe des Siedezustandes zu erwärmen und dann einem Kälte­trägersammler und -abscheider zugeführt zu werden. In diesem Sammler und Abscheider wird schließlich Phasengleichgewicht zwischen Kälte­trägerkondensat und Kälte­trägersatt­dampf erreicht, beispielsweise bei -40°C und 10,0 bar.

[0033] Das Kälte­trägerkondensat fließt dann als Rücklauf über eine Kavitation verhindernde angemessene Zulaufhöhe zur Kälte­trägerpumpe, die es zum Zwischenmediumverdampfer fördert, in welchem die Wärme vom hier verdampfenden Zwischenmedium aufgenommen wird, welches im Naturumlauf zum Zwischenmediumkondensator gelangt und dort kondensierend die Wärme an das zu regasifizierende LNG überträgt.

[0034] An das beschriebene Kälte­trägersystem ist zum Zweck der Drucküberwachung oberhalb des Kälte­trägersammlers und -abscheiders, diesen als Kupplung nutzend, eine konventionelle Verdichter­kältemaschine als Ersatzkälteanlage angeschlossen. Die Verbindung ergibt sich durch einen Naturumlauf, in welchem in freier Konvektion aus dem Kälte­trägersammler und -abscheider zuströmender Kälte­trägersatt­dampf an dem wie üblich als Oberflächenwärmeaustauscher gestalteten Verdampfer der Verdichter­kältemaschine kondensiert und flüssig zurückfließt, und zwar in Verbindungsleitungen, die strömungstechnisch so gestaltet sind, dass keine Umwälzpumpe benötigt wird. Mit Hilfe der Kälte­leistung der Ersatzkälteanlage erzielt man eine zweifache Wirkung. Einerseits kann entstandener Kälte­trägersatt-

dampf rückverflüssigt und im Kälteträgersammler und

- abscheider gespeichert werden und andererseits kann der Druck im Kälteträgerkreislauf gesenkt werden. Die Ersatzkältemaschine, die Druckerfassung im Kälteträgersammler und
- abscheider, die computergestützte Anlagensteuerung, die abschaltbare Kälteträgerpumpe und das LNG-Drosselventil bilden dabei ein Sicherheitssystem, das verhindert, dass der Druck im Kälteträgerkreislauf bei einer eventuellen Unterbrechung des LNG-Flusses und/oder bei einer die vorgesehenen Grenzen überschreitenden Wärmezufuhr in der Kältebedarfsstelle über ein festgelegtes Limit hinaus ansteigt, zum Beispiel 25 bar, der Dampfdruck bei -12°C , und deshalb ein Sicherheitsventil betätigt werden muss.

Ausführungsbeispiel

[0035] Die erfindungsgemäße Anlage mit ihren apparativen anlagentechnischen Merkmalen wird nachfolgend an Hand einer Zeichnung, Figur 1, näher erläutert. Die Zeichnung zeigt ein Beispiel der Anlagenausführung.

[0036] Die an die Regasifizierungseinrichtung eines LNG-Terminals gekoppelte Kälteversorgungsanlage nutzt die für die Regasifizierung des LNG benötigte Wärme als Kälteleistung. Diese wird mit Hilfe eines Kälteträgers (1), der mit einer Kälteträgerpumpe (7) in einem geschlossenen, aus gut isolierten Rohrleitungen (8) bestehenden Kreislauf umgewälzt wird, an die gegebenenfalls fernliegende Kältebedarfsstelle (2) übertragen. Der Kälteträger (1) ist flüssiges CO_2 , das in den Rohren eines Rohrbündelwärmeaustauschers, des sogenannten Zwischenmediumverdampfers (4) bis zum zulässigen Minimalwert -50°C abgekühlt wird, dann in unterkühltem Zustand an die zu versorgende Kältebedarfsstelle (2) gelangt, um sich dort durch Wärmeaufnahme, was der Kälteleistung entspricht, bis in die Nähe des Siedezustandes zu erwärmen.

[0037] Die nächste Station im Kreislauf ist der Kälteträgersammler und -abscheider (9), in welchem schließlich das den Druck im Kreislaufsystem bestimmende Phasengleichgewicht zwischen Kälteträgerkondensat (10) und Kälteträgersattdampf (11) erreicht wird. Das Kälteträgerkondensat (10) fließt dann über eine Kavitation verhindernde angemessene Zulaufhöhe der Kälteträgerpumpe (7) zu, die es als Rücklauf zum Zwischenmediumverdampfer (4) fördert.

[0038] Im Zwischenmediumverdampfer (4) wird vom im Mantelraum siedenden Zwischenmedium (12) Propan die in den Rohren strömenden Kälteträger (1) abgegebene Wärme aufgenommen. Das verdampfte Zwischenmedium (12) verlässt dann über eine Zwischenmediumsattampfleitung (13) den oberen Bereich des Mantelraumes des Zwischenmediumverdampfers (4) und gelangt in den oberen Mantelraumbereich eines weiteren Rohrbündelwärmeaustauschers, den sogenannten Zwi-

schenmediumkondensator (5), der oberhalb des Zwischenmediumverdampfers (4) angeordnet und wie dieser horizontal ausgerichtet ist.

[0039] Das im Mantelraum des Zwischenmediumkondensators (5) kondensierende Zwischenmedium liefert schließlich die Wärme, die für die Regasifizierung des in den Rohren strömenden LNG benötigt wird, und fließt dann aus dem unteren Mantelraumbereich des Zwischenmediumkondensators (5) über die Zwischenmediumkondensatleitung (14) abwärts zum unteren Mantelraumbereich des Zwischenmediumverdampfers (4). Der mit dem Zwischenmedium (12) gestaltete Wärmetransport vom Kälteträger (1) zum LNG erfolgt im Naturumlauf, das heißt, in freier Konvektion ohne Umwälzpumpe, und auf einem sicheren mittleren Temperaturniveau, welches die Gefahr des Erstarrens des Kälteträgers (1) ausschließt. Der Naturumlauf des verdampfenden und kondensierenden Zwischenmediums (12) Propan zwischen den beiden Rohrbündelwärmeaustauschern, dem Zwischenmediumverdampfer (4) und dem Zwischenmediumkondensator (5) wird durch die großzügig dimensionierten minimale Druckverluste aufweisenden Zwischenmediumsattampfleitung (13) und Zwischenmediumkondensatleitung (14) erreicht, die die Phasen Sattampf und Kondensat getrennt und zudem bei Bedarf auch in mehreren parallelen Leitungen fördern.

[0040] Die in Figur 1 dargestellte Kälteversorgungsanlage enthält mehrere Maßnahmen zur Sicherstellung einer die vorgegebenen Betriebsdaten einhaltenden störungsfreien Kälteversorgung.

[0041] Zur Konstanthaltung der Temperatur des siedenden und kondensierenden Zwischenmediums (12) Propan im Zwischenmediumverdampfer (4) und im Zwischenmediumkondensator (5) auf einem sicheren mittleren Niveau dient eine Zwischenmediumdruckregelung und -überwachung (17).

[0042] Der gemessene Druck des im Phasengleichgewicht befindlichen Zwischenmediums (12) wird mit Hilfe einer computergestützten Anlagensteuerung (20) und eines LNG-Drosselventils (16), das als Stellglied den LNG-Durchfluss (3) und damit die Wärmeübertragung im Zwischenmediumkondensator (5) bestimmt, auf einen Sollwert geregelt, beispielsweise 0,611 bar, was gemäß der Propan-Dampfdruckkurve mit der Temperatur -55°C korreliert.

[0043] Dass sich der Kälteträger (1) durch die Wärmeabgabe an das Zwischenmedium (12) möglichst tief, aber nicht unter den minimal zulässigen Wert -50°C abkühlt, wird zusätzlich diversitär redundant mit der Kälteträger-Austrittstemperaturegelung (15) erreicht. Die Temperatur des Kälteträgers (1) wird dabei an der Stelle der tiefsten Abkühlung, das heißt am Ausgang des Zwischenmediumverdampfers (4) gemessen. Auch hier erfolgt die Regelung mit Hilfe der Anlagensteuerung (20) und dem LNG-Drosselventil (16), das als Stellglied den LNG-Durchfluss (3) und damit die aus dem Wärmeübergang an das LNG resultierende Abkühlung des Kälteträgers (1) bestimmt.

[0044] Die Erfassung des Druckes des Zwischenmediums (12) dient ferner auch der Absicherung einer eventuellen Undichtigkeit im Wärmeübertragungssystem Kälteträger - Zwischenmediumverdampfer - Propanverbindungsleitungen - Zwischenmediumkondensator - LNG. Mit den Komponenten Zwischenmediumdruckregelung und -überwachung (17), computergestützte Anlagensteuerung (20) und LNG- Drosselventil (16) steht eine sicherheitstechnische Einrichtung zur Verfügung, die eine eventuelle Leckage aus den LNG oder CO₂ transportierenden Rohren in die das Zwischenmedium (12) Propan enthaltenden Räume detektiert, nämlich in die Mantelräume der beiden Rohrbündelwärmeaustauscher, den Zwischenmediumverdampfer (4) und den Zwischenmediumkondensator (5), sowie in die Propanverbindungsleitungen, die Zwischenmediumsattdampfleitung (13) und die

[0045] Zwischenmediumkondensatleitung (14). Als Gegenmaßnahme wird die LNG-Zufuhr am LNG- Eintritt (3) und der Betrieb der Kälteträgerpumpe (7) unterbrochen.

[0046] Durch die Höhe des festgestellten Druckanstiegs lässt sich zusätzlich identifizieren, ob die Leckage eindringendes LNG betrifft, welches üblicherweise vor der Regasifizierung auf den für die Erdgasnutzung erforderlichen hohen, meist überkritischen Druck gepumpt wird, oder eindringendes CO₂, dessen Druck trotz des Zustandes einer unterkühlten Flüssigkeit deutlich geringer ist.

[0047] Eine weitere Drucküberwachung betrifft schließlich die typisch hohe Drucklage des CO₂ im gesamten Kälteträgerkreislauf. Zu diesem Zweck ist oberhalb des Kälteträgersammlers und -abscheiders (9), diesen als Kupplung nutzend und so in das Kälteträgersystem eingebunden, eine konventionelle Verdichterkältemaschine (VKM) als Ersatzkälteanlage (6) angeordnet. Es ergibt sich ein Naturumlauf, in welchem über eine Kälteträgersattdampfleitung (18) in freier Konvektion zuströmender Kälteträgersattdampf an dem wie üblich als

[0048] Oberflächenwärmeaustauscher gestalteten Verdampfer der Verdichterkältemaschine (VKM) kondensiert und danach flüssig über die Kälteträgerkondensatleitung (19) zurückgeführt wird, und zwar in Verbindungsleitungen, die strömungstechnisch so gestaltet sind, dass keine Umwälzpumpe benötigt wird. Mit Hilfe der Kälteleistung der Ersatzkälteanlage (6) ergibt sich eine zweifache Wirkung. Einerseits kann so entstandener Kälteträgersattdampf (10) rückverflüssigt und im Kälteträgersammler und -abscheider (9) gespeichert werden, andererseits kann der Druck im Kälteträgerkreislauf gesenkt werden. Die Ersatzkälteanlage (6), die Kälteträger- Abscheiderdruckregelung (21), die computergestützte Anlagensteuerung (20), die abschaltbare Kälteträgerpumpe (7) und das LNG- Drosselventil (16) bilden dabei ein Sicherheitssystem, das verhindert, dass der Druck im Kälteträgerkreislauf bei einer eventuellen Unterbrechung des LNG- Durchflusses (3) und/oder bei einer die vorgesehenen Grenzen überschreitenden Wär-

mezufuhr in der Kältebedarfsstelle (2) über ein festgelegtes Limit hinaus ansteigt, zum Beispiel 25 bar, der Dampfdruck bei -12°C, und deshalb ein Sicherheitsventil betätigt werden muss.

5

Bezugszeichenliste

[0049]

10	1	Unterkühlte Kälteträgerflüssigkeit, Kälteträger,
	2	Kältebedarfsstelle,
	3	LNG- Eintritt, LNG- Durchfluss,
	4	Zwischenmediumverdampfer,
	5	Zwischenmediumkondensator,
15	6	Ersatzkälteanlage,
	7	Kälteträgerpumpe,
	8	Isolierte Rohrleitung,
	9	Kälteträgersammler und -abscheider,
	10	Kälteträgerkondensat,
20	11	Kälteträgersattdampf,
	12	Zwischenmedium,
	13	Zwischenmediumsattdampfleitung,
	14	Zwischenmediumkondensatleitung,
	15	Kälteträger- Austrittstemperaturregelung,
25	16	LNG- Drosselventil,
	17	Zwischenmediumdruckregelung und -überwachung,
	18	Kälteträgersattdampfleitung,
	19	Kälteträgerkondensatleitung,
30	20	Computergestützte Anlagensteuerung,
	21	Kälteträger- Abscheiderdruckregelung,
	VKM	Verdichterkältemaschine.

35 **Patentansprüche**

1. Kälteversorgungsanlage, die an die Regasifizierungseinrichtung eines Liquefied Natural Gas Terminals koppelbar ist, zur Nutzung der dort bei der LNG-Regasifizierung auf niedrigem Temperaturniveau verfügbaren, hochwertigen Kälteleistung, **gekennzeichnet dadurch, dass** zwischen einem LNG- Eintritt (3) und einer Kältebedarfsstelle (2) folgende miteinander in Wirkverbindung stehende funktionswesentliche Bauteile angeordnet sind, nämlich ein Zwischenmediumkondensator (5), ein Zwischenmediumverdampfer (4), ein Kälteträgersammler und -abscheider (9) für Kälteträgerkondensat (10) und Kälteträgersattdampf (11), eine Ersatzkälteanlage (6), eine Kälteträgerpumpe (7), ein LNG- Drosselventil (16) und eine computergestützte Anlagensteuerung (20), die unter Nutzung von Propan als Zwischenmedium (12) derart zusammenwirken, **dass** unterkühlte Kälteträgerflüssigkeit (1) mittels der Kälteträgerpumpe (7) in einem geschlossenen aus gut isolierten Rohrleitungen (8) bestehenden Kreislauf umwälzbar ist, wobei sie im Zwischenmediumverdampfer (4) unter Wärmeabgabe an das Zwischenmedi-

- um (12) bis -50°C abkühlt, dann in unterkühltem Zustand bis an die zu versorgende gegebenenfalls fernliegende Kältebedarfsstelle (2) gelangt, um sich hier durch Wärmeaufnahme, was der Kälteleistung entspricht, bis in die Nähe des Siedezustandes zu erwärmen, folgend einem Kälteträgersammler und -abscheider (9) zuführbar ist, in dem schließlich Phasengleichgewicht zwischen Kälteträgerkondensat (10) und Kälteträgersattdampf (11) erreicht wird, wobei das Kälteträgerkondensat (10) als Rücklauf wieder dem Zwischenmediumverdampfer (4) zugeleitet wird, in welchem die Wärme vom hier verdampfenden Zwischenmedium (12) aufgenommen wird, welches dann im Naturumlauf zum Zwischenmediumkondensator (5) gelangt und dort kondensierend die Wärme an das zu regasifizierende LNG überträgt, **dass** ferner Versorgungssicherheit erreicht wird und zwar mit Hilfe der Regelungstechnik, die die Unterschreitung der minimal zulässigen Kälteträgertemperatur verhindert, und zusätzlich mit Hilfe der an den Kälteträgersammler und -abscheider (9) gekoppelten Ersatzkälteanlage (6), die einen durch die Unterbrechung des LNG- Durchflusses (3) und/oder durch vorgesehene Grenzen überschreitende Wärmezufuhr in der Kältebedarfsstelle (2) verursachten unzulässigen Druckanstieg im Kälteträgerkreislauf verhindert.
2. Kälteversorgungsanlage nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** CO_2 als Kälteträger (1) verwendet wird, und zwar so, dass dieser ohne Phasenwechsel, flüssig und unterkühlt die Kälteleistung an die zu versorgende Kältebedarfsstelle (2) transportiert, wobei sich auch große Distanzen kostengünstig überbrücken lassen, während die Gefahr des Erstarrens des CO_2 , dessen Triplepunkt die Koordinaten 5,19 bar und $-56,6^{\circ}\text{C}$ hat, mit der Beschränkung der Abkühlung auf den Mindestwert -50°C beherrscht wird, die durch die computerunterstützte Anlagensteuerung (20) erfolgt, welche das LNG-Drosselventil (16) als Stellglied und die mittels der Temperaturregelung (15) erfasste Kälteträgertemperatur am Austritt aus dem Zwischenmediumverdampfer (4), wo sie ihren niedrigsten Wert erreicht, als Regelgröße nutzt.
3. Kälteversorgungsanlage nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Abwendung der Gefahr des Erstarrens des Kälteträgers (1) die Wärmeübertragung mit Hilfe des Zwischenmediums (12) Propan erfolgt, das in Naturumlauf ohne Umwälzpumpe den vom Kälteträger (1) abgegebene Wärmestrom zunächst auf einem sicheren mittleren Temperaturniveau aufnimmt, um ihn dann an das LNG zu übertragen, was dadurch erreicht wird, dass ein Zwischenmediumkondensator (5) über einem Zwischenmediumverdampfer (4) angeordnet ist und dass beide horizontal ausgerichtet, für die zu beherrschenden tiefen Temperaturen taugliche Rohr-bündelwärmeaustauscher sind, und zwar der Zwischenmediumverdampfer (4), der den Kälteträger (1) in den Rohren führt, während das Zwischenmedium (12) im Mantelraum siedet, und der Zwischenmediumkondensator (5), der das LNG in den Rohren führt, während das Zwischenmedium (12) im Mantelraum kondensiert, wobei die Transporte der gasförmigen und der flüssigen Phasen zur Sicherstellung des Naturumlaufs getrennt und in großzügig dimensionierten Leitungen mit minimalen Druckverlusten realisiert sind, nämlich in der Zwischenmediumsattdampfleitung (13) und in der Zwischenmediumkondensatleitung (14) in jeweils einer oder mehreren parallelen Leitungen, die den Dampf aus dem oberen Mantelraumbereich des Zwischenmediumverdampfers (4) zum oberen Mantelraumbereich des Zwischenmediumkondensators (5) führen und das Kondensat über wenigstens eine Zwischenmediumkondensatleitung (14) aus dem unteren Mantelraumbereich des Zwischenmediumkondensators (5) in den unteren Mantelraumbereich des Zwischenmediumverdampfers (4).
4. Kälteversorgungsanlage nach wenigstens einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit Hilfe einer Zwischenmediumdruckregelung und -überwachung (17) im Zwischenmedium (12) Propan, einer computergestützten Anlagensteuerung (20) und eines LNG- Drosselventils (16) regelungstechnisch diversitär redundant sichergestellt ist, dass sich der Kälteträger (1), nämlich CO_2 , im Zwischenmediumverdampfer (4) möglichst tief, aber nicht unterhalb -50°C abgekühlt und somit nicht in die feste Phase übergeht, wobei als Regelgröße der Propandruck benutzt wird, als dessen Sollwert der minimal zulässige Wert des im Phasengleichgewicht befindlichen siedenden und kondensierenden Propan 0,611 bar gesetzt ist, was gemäß der Propan- Dampfdruckkurve mit der Temperatur -55°C korreliert, deren Erreichen vom Wärmeübergang an das LNG, also von dessen Durchfluss abhängt, der mit dem LNG- Drosselventil (16) einstellbar ist.
5. Kälteversorgungsanlage nach wenigstens einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine aus den Komponenten Zwischenmediumdruckregelung und -überwachung (17), computergestützte Anlagensteuerung (20) und LNG- Drosselventil (16) bestehende sicherheitstechnische Einrichtung zur Drucküberwachung und -regelung des Zwischenmediums (12) angeordnet ist, wodurch eine eventuelle Leckage aus den LNG oder CO_2 transportierenden Rohren in den das Zwischenmedium (12) enthaltenen Raum zu erkennen ist und die LNG- Zufuhr und der Betrieb der Kälteträgerpumpe (7) als Gegenmaßnahme unterbro-

chen werden kann, wobei durch die Höhe des festgestellten Druckanstiegs zusätzlich identifizierbar ist, ob die Leckage eindringendes LNG betrifft, welches üblicherweise vor der Regasifizierung auf den für die Erdgasnutzung erforderlichen hohen, meist überkritischen Druck gepumpt wurde, oder eindringendes CO₂, dessen Druck trotz des Zustandes einer unterkühlten Flüssigkeit deutlich geringer ist.

6. Kälteversorgungsanlage nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine konventionelle Verdichterkältemaschine (VKM) als Ersatzkälteanlage (6) oberhalb des Kälteträgersammlers und -abscheiders (9) angeordnet und diesen als Kupplung nutzend in das Kälteträgersystem eingebunden ist, wobei in freier Konvektion in Naturumlauf über die Kälteträgersattdampfleitung (18) zuströmender Kälteträgersattdampf (11) an dem wie üblich als Oberflächenwärmeaustauscher gestalteten Verdampfer der Verdichterkältemaschine (VKM) kondensiert und danach über die Kälteträgerkondensatleitung (19) zurückfließt, so dass mit Hilfe der Kälteleistung der Ersatzkälteanlage (6) eine zweifache Wirkung erzielbar ist, nämlich einerseits kann so entstandener Kälteträgersattdampf (10) rückverflüssigt und im Kälteträgersammler und -abscheider (9) gespeichert werden, andererseits kann der Druck im Kälteträgerkreislauf gesenkt werden, was mit Hilfe der aus der Ersatzkälteanlage (6), der Kälteträger-Abscheiderdruckregelung (21), der computergestützten Anlagensteuerung (20), dem LNG-Drosselventil (16) und der abschaltbaren Kälteträgerpumpe (7) bestehenden sicherheitstechnischen Einrichtung ermöglicht, bei einer eventuellen Unterbrechung des LNG-Durchflusses (3) und/oder bei einer die vorgesehenen Grenzen überschreitenden Wärmezufuhr in der Kältebedarfsstelle (2) den unzulässigen Druckanstieg des Kälteträgers zu verhindern.
7. Kälteversorgungsanlage nach wenigstens einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kältebedarfsstelle (2) außerhalb der übrigen Anlagenkomponenten angeordnet ist.

Claims

1. Refrigeration supply system, which is coupleable to the regasification facility of a liquefied natural gas terminal, for utilizing the high-value refrigerating capacity available there at a low temperature level during LNG regasification, **characterized in that**, between an LNG inlet (3) and a refrigeration demand point (2), the following functionally essential component parts are arranged and operationally interacting with one another, namely an intermediate medium condenser (5), an intermediate medium evaporator (4), a refrigerating agent collector and separator (9)

for refrigerating agent condensate (10) and refrigerating agent saturated steam (11), a substitute refrigerating plant (6), a refrigerating agent pump (7), an LNG throttle valve (16) and a computer-assisted plant control (20), which interact, using propane as an intermediate medium (12) such that supercooled refrigerating agent liquid (1) is circulatable in a closed circuit consisting of well insulated pipelines (8) by means of the refrigerating agent pump (8) while it cools down to -50°C in the intermediate medium evaporator (4) releasing heat to the intermediate medium (12), then, in a supercooled state, reaches the refrigeration demand point (2) to be supplied and remotely located, if any, to heat up here by taking up heat which corresponds to the refrigerating capacity, up to an amount close to the boiling state, subsequently being feedable to a refrigerating agent collector and separator (9). in which phase equilibrium is finally reached between refrigerating agent condensate (10) and refrigerating agent saturated steam (11), while the refrigerating agent condensate (10) is conducted, as return flow, back to the intermediate medium evaporator (4), in which heat is absorbed by the intermediate medium (12) evaporating here, which then reaches the intermediate medium condenser (5) through natural circulation and transfers, while condensing there, the heat to the LNG to be regasified,

in that, furthermore, security of supply is achieved specifically by means of control engineering which prevents falling below the minimum admissible refrigerating agent temperature, and additionally, by means of the substitute refrigerating plant (6) coupled to the refrigerating agent collector and separator (9) which prevents any inadmissible pressure increase caused in the refrigerating agent circuit by an interruption of the LNG flow (3) and/or by heat supply in excess of the limits provided for at the refrigeration demand point (2).

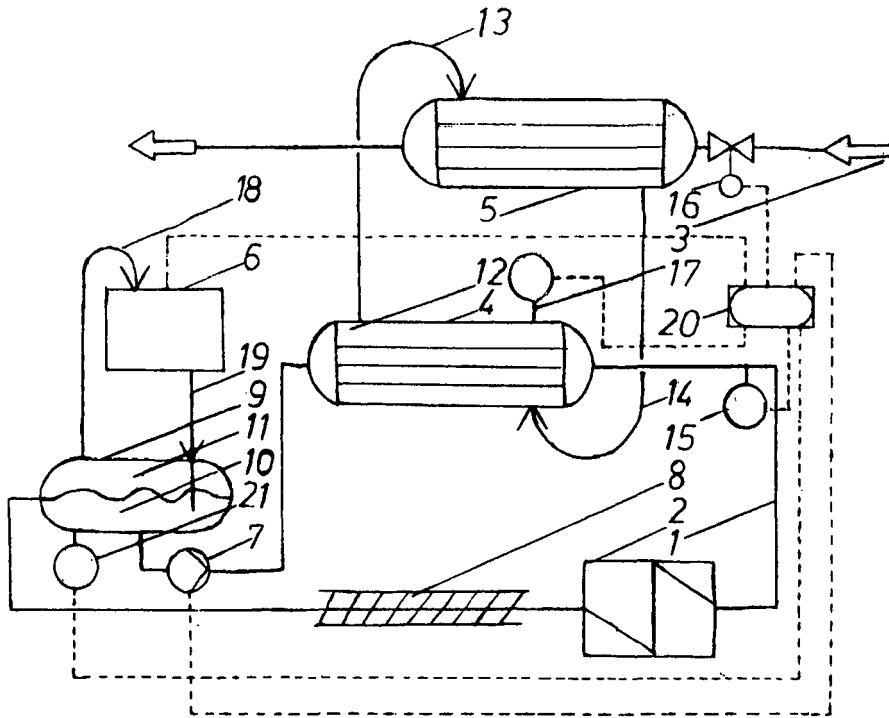
2. Refrigeration supply system as claimed in claim 1, **characterized in that**, CO₂ is used as a refrigerating agent (1), and specifically such that this refrigerating agent is transporting the refrigerating capacity without phase change, in a liquid and supercooled state, to the refrigeration demand point (2) to be supplied, while even long distances can be covered costs-efficiently, while the risk of solidification of CO₂, whose triple point is at the coordinates of 5.19 bars and -56.6°C, is controlled by restricting cooling to a minimum value of -50°C, that is performed by computer-assisted plant control (20), which uses the LNG throttle valve (16) as an actuating element and takes the refrigerating medium temperature captured by means of the temperature control (15) at the outlet from the intermediate medium evaporator (4), where it reaches its lowest value, as a control parameter.

3. Refrigeration supply system as claimed in claims 1 and 2, **characterized in that**, in order to avoid the risk of solidification of the refrigerating medium (1), heat transfer is performed by using propane as an intermediate medium (12) which absorbs, in natural circulation without recirculation pump and initially at a safe medium temperature level, the heat flow emitted by the refrigerating medium (1), in order to then transfer that heat flow to the LNG which is achieved by an intermediate medium condenser (5) arranged above an intermediate medium evaporator (4) and that both of them are horizontally aligned shell-and-tube heat exchangers suitable for the low temperatures to be controlled, that is specifically the intermediate medium evaporator (4) which carries the refrigerating medium (1) in its tubes while the intermediate medium (12) is boiling in the shell space, and the intermediate medium condenser (5), which carries the LNG in its tubes, while the intermediate medium (12) is condensing in the shell space, while the transports of the gaseous and of the liquid phases for ensuring natural circulation are implemented separately and in generously dimensioned lines with minimum pressure losses, namely in the intermediate medium saturated steam line (13) and in the intermediate medium condensate line (14) each in one or more parallel lines which conduct the steam from the upper shell space area of the intermediate medium evaporator (4) to the upper shell space area of the intermediate medium condenser (5) and the condensate via at least one intermediate medium condensate line (14) from the lower shell space area of the intermediate medium condenser (5) into the lower shell space area of the intermediate medium evaporator (4).
4. Refrigeration supply system as claimed in at least one the aforementioned claims, **characterized in that** an intermediate medium pressure controller and monitor (17) in the propane intermediate medium (12), a computer-assisted plant control (20) and an LNG throttle valve (16) are used to ensure this by means of diversely redundant control engineering, that the refrigerating agent (1), namely CO₂, has cooled down in the intermediate medium evaporator (4) as low as possible but not to less than -50°C and thus does not change to the solid phase, while the control parameter used is propane pressure whose setpoint value is set to the minimum admissible value of boiling and condensing propane at phase equilibrium, i. e. to 0.611 bars which, according to the propane vapour-pressure curve correlates with a temperature of -55°C the attainment of which depends on heat transfer to the LNG, that is on its flow which is adjustable by means of the LNG throttle valve (16).
5. Refrigeration supply system as claimed in at least one of the aforementioned claims, **characterized in that** an engineered safety feature is arranged for monitoring and controlling the pressure of the intermediate medium (12) and consists of components including intermediate medium pressure controller and monitor (17), computer-assisted and plant controller (20) and LNG throttle valve (16), which feature allows detecting any leakage from the pipes carrying LNG or CO₂ to the space containing the intermediate medium (12), and to interrupt the LNG supply and the operation of the refrigerating agent pump (seven) as a countermeasure, while the amount of the rise in pressure detected also allows to determine whether the leakage concerns entering LNG, which, prior to regasification, has usually been pumped at the high, and mostly supercritical pressure required for natural gas utilization, or concerns entering CO₂, the pressure of which is considerably lower in spite of its state as a supercooled liquid.
6. Refrigeration supply system as claimed in claim 1, **characterized in that** a conventional compression refrigerating machine (VKM) is arranged as a substitute refrigerating plant (6) above the refrigerating agent collector and separator (9), and uses the latter as a coupling to be integrated into the refrigerating agent system, while refrigerating agent saturated steam (11) flowing in in free convection and through natural circulation via the refrigerating agent saturated vapour line (18) condensates at the evaporator designed as usual as a surface heat exchanger of the compression refrigerating machine (VKM) , and then flows back via the refrigerating agent condensate line (19), such that the refrigerating capacity of the substitute refrigerating plant (6) allows to achieve a twofold effect, namely the refrigerating agent saturated steam (10) thus generated can be returned to the liquid state and be stored in the refrigerating agent collector and separator (9) on the one hand, and pressure can be reduced in the refrigerating agent circuit on the other hand, which allows, with the help of the engineered safety feature consisting of substitute refrigerating plant (6), refrigerating agent separator pressure controller (21), computer-assisted plant controller (20), LNG throttle valve (16) and disconnectable refrigerating agent pump (7), to prevent an inadmissible pressure increase of the refrigerating agent in the event of any interruption in the LNG flow (3) and/or in the event of heat supply exceeding the limits provided for at the refrigeration demand point (2).
7. Refrigeration supply system as claimed in at least one of the aforementioned claims, **characterized in that** the refrigeration demand point (two) is located outside of the other plant components.

Revendications

1. Installation d'alimentation en froid pouvant être couplée au dispositif de regazéification d'un terminal de gaz naturel liquéfié et destinée à l'utilisation de la puissance frigorifique de haute valeur disponible à un faible niveau de température dans la regazéification de GNL, **caractérisée en ce que**, entre une entrée de GNL (3) et un point de demande de froid (2), sont aménagés les composants essentiels au fonctionnement suivants et se trouvant en liaison active entre eux, à savoir un condensateur de fluide intermédiaire (5), un évaporateur de fluide intermédiaire (4), un collecteur et un séparateur de frigoporteur (9) pour du condensat frigoporteur (10) et de la vapeur saturée frigoporteur (11), une installation frigorifique de remplacement (6), une pompe frigoporteur (7), une vanne d'étranglement GNL (16) et une commande d'installation assistée par ordinateur (20), composants qui, en utilisant du propane comme fluide intermédiaire (12), coopèrent de sorte que du liquide frigoporteur surrefroidi (1) peut être circulé au moyen de la pompe frigoporteur (7) dans un circuit fermé existant composé par des tuyauteries (8) bien isolées en se refroidissant jusqu'à -50°C dans l'évaporateur de fluide intermédiaire (4) en dégageant de la chaleur au fluide intermédiaire (12) avant d'arriver, en état surrefroidi, jusqu'au point de demande de froid (2) à être alimenté et se trouvant, le cas échéant, en situation éloignée, afin de se réchauffer ici par absorption thermique, ce qui correspond à la puissance frigorifique, jusqu'à un niveau proche de l'état d'ébullition, pouvant être amené, par la suite, à un collecteur et séparateur de frigoporteur (9) dans lequel un équilibre des phases est finalement atteint entre le condensat frigoporteur (10) et la vapeur saturée de frigoporteur (11), le condensat frigoporteur (10) étant ramené, comme flux de retour, à l'évaporateur de fluide intermédiaire (4) dans lequel la chaleur est absorbée par le fluide intermédiaire (12) s'évaporant ici et arrive après, par circulation naturelle, au condensateur de fluide intermédiaire (5) afin de transmettre, en condensant à cet endroit, la chaleur au GNL à être regazéifié, **en ce que**, en outre, une sécurité d'approvisionnement est atteinte, grâce aux équipements de réglage qui évitent le dépassement négatif de la température minimale admissible du frigoporteur et, de plus, grâce à l'installation frigorifique de remplacement (6) qui est couplée au collecteur et séparateur de frigoporteur (9) et évite une augmentation de la pression inadmissible dans le circuit frigoporteur et causée par l'interruption du débit de GNL (3) et/ou par un apport de chaleur dépassant les limites prévues au point de demande de froid (2).
2. Installation d'alimentation en froid selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** du CO_2 est utilisé comme frigoporteur (1) et ceci de sorte que celui-ci transporte la puissance frigorifique sans changement de phase, en l'état liquide et surrefroidi, au point de demande de froid (2) à être alimenté, permettant de couvrir, de manière économique, même des grandes distances, en maîtrisant le risque de solidification du CO_2 , dont le point triple a les coordonnées de 5,19 bars et de $-56,6^{\circ}\text{C}$, grâce à la limitation du refroidissement à une valeur minimale de -50°C , qui est assurée par la commande assistée par ordinateur de l'installation (20) qui utilise comme actionneur la vanne d'étranglement de GNL (16) et comme paramètre de réglage la température du frigoporteur enregistrée par le dispositif de réglage de température (15) à la sortie de l'évaporateur du fluide intermédiaire (4) où elle atteint sa valeur la plus faible.
3. Installation d'alimentation en froid selon les revendications 1 et 2, **caractérisée en ce que**, afin de prévenir le risque de solidification du frigoporteur (1), la transmission de chaleur se fait à l'aide de propane comme fluide intermédiaire (12) qui absorbe, en circulation naturelle sans pompe de circulation et d'abord à un niveau moyen sûr de température, le flux thermique dégagé par le frigoporteur (1) afin de le transmettre, par la suite, au GNL, ce qui est assuré grâce à l'aménagement d'un condensateur de fluide intermédiaire (5) au-dessus d'un évaporateur de fluide intermédiaire (4) et à ce que les deux sont des échangeurs de chaleur à faisceaux tubulaires alignés horizontalement et convenants aux températures profondes à être maîtrisées, à savoir l'évaporateur de fluide intermédiaire (4) qui conduit le frigoporteur (1) par les tubes tandis que le fluide intermédiaire (12) est en ébullition dans l'espace compris entre les tubes et la calandre, et le condensateur de fluide intermédiaire (5) qui mène le GNL dans les tubes, tandis que le fluide intermédiaire (12) condense dans le espace compris entre les tubes et la calandre, les transports des phases gazeuse et liquide étant réalisés, afin d'assurer la circulation naturelle, de manière séparée et avec des pertes de pression minimales dans des tuyaux généreusement dimensionnés, à savoir dans la conduite de vapeur saturée de fluide intermédiaire (13) et dans la conduite de condensat de fluide intermédiaire (14), chaque fois dans une ou dans plusieurs conduites parallèles qui mènent la vapeur de l'espace supérieur compris entre les tubes et la calandre de l'évaporateur de fluide intermédiaire (4) à l'espace supérieur compris entre les tubes et la calandre du condensateur de fluide intermédiaire (5) et qui mènent le condensat au moins par une conduite de condensat de fluide intermédiaire (14) de l'espace inférieur compris entre les tubes et la calandre du condensateur de fluide intermédiaire (5) à l'espace inférieur compris entre les tubes et la calandre de l'évaporateur de fluide intermédiaire (4).

4. Installation d'alimentation en froid selon au moins une des revendications susmentionnées, **caractérisée en ce que**, à l'aide d'un dispositif de réglage et de surveillance de la pression de fluide intermédiaire (17) dans le propane, fluide intermédiaire (12), d'une commande d'installation assistée par ordinateur (20) et d'une vanne d'étranglement de GNL (16), il est assuré par des techniques de réglage diversitaires redondantes que le frigoporteur (1), à savoir 002, se refroidit dans l'évaporateur de fluide intermédiaire (4) jusqu'à la température la plus basse possible mais non plus basse que -50°C et ne passe donc pas à la phase solide, en utilisant comme variable commandée la pression de propane dont la valeur de consigne minimale admissible est définie comme la valeur minimale admissible de 0,611 bar de propane se trouvant en équilibre de phases en état de d'ébullition et de condensation, ce qui, selon la courbe de pression de vapeur du propane est en corrélation avec la température de - 55 °C dont l'atteinte dépend du transfert de chaleur au GNL donc de son débit qui est ajustable au moyen de la vanne d'étranglement de GNL (16).
5. Installation d'alimentation en froid selon au moins une des revendications susmentionnées, **caractérisée en ce qu'**un dispositif technique de sécurité destinée à la surveillance et au réglage de la pression du fluide intermédiaire (12) et comprenant comme composants le réglage et la surveillance de la pression du fluide intermédiaire(17), la commande assistée par ordinateur de l'installation (20) et la vanne d'étranglement de GNL (16), est mis en place ce qui permet de détecter une éventuelle fuite des tuyaux transportant du GNL ou du CO2 dans l'espace contenant le fluide intermédiaire (12) et d'interrompre, comme contre-mesure, l'alimentation en GNL et le fonctionnement de la pompe frigoporteur (7), l'importance de l'augmentation de pression détectée permettant d'identifier en plus si la fuite concerne du GNL entrant qui, habituellement, vient d'être pompé à la pression élevée et souvent surcritique nécessaire aux fins de l'utilisation de gaz naturel avant la regazéification, ou bien du CO2 entrant dont la pression, en dépit de son état de liquide surrefroidi, est nettement moins élevée.
6. Installation d'alimentation en froid selon la revendication 1, **caractérisée en ce qu'**une machine frigorifique à compression (VKM) conventionnelle est mise en place, comme installation frigorifique de remplacement (6), au-dessus du collecteur et du séparateur de frigoporteur (9), et intégrée, en utilisant ce dernier comme accouplement, au système frigoporteur, de la vapeur saturée de frigoporteur (11), affluent en convection libre et en circulation naturelle par la conduite de vapeur saturée frigoporteur (18), condensant à l'évaporateur dessiné, comme d'habitude, comme échangeur de chaleur par surface de la machine frigorifique à compression (VKM) avant de s'écouler de retour en passant par la conduite de condensat frigoporteur (19), de sorte que, à l'aide de la puissance frigorifique de l'installation frigorifique de remplacement (6), un double effet soit atteignable, permettant, à savoir d'une part, à la vapeur saturée de frigoporteur (10) ainsi générée d'être reliquéfiée et d'être accumulée dans le collecteur et séparateur de frigoporteur (9) et d'autre part, de réduire la pression dans le circuit frigoporteur, ce qui, à l'aide du dispositif technique sécurité constitué par l'installation frigorifique de remplacement (6), par le dispositif de réglage de pression du séparateur de frigoporteur (21), par la commande d'installation assistée par ordinateur (20), par la vanne d'étranglement de GNL (16) et par la pompe frigoporteur (7) déconnectable, permet d'éviter, en cas d'une éventuelle interruption du débit de GNL (3) et/ou d'un apport de chaleur dépassant les limites prévues au point de demande de froid (2), l'augmentation inadmissible de la pression du frigoporteur.
7. Installation d'alimentation en froid selon au moins une des revendications susmentionnées, **caractérisée en ce que** le point de demande de froid (2) se trouve en dehors des autres composants de l'installation.



Figur 1

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0048316 A **[0011]**
- US 6367429 B **[0011]**
- US 4170115 A **[0011]**
- DE 202015008836 **[0013]**
- DE 102016006121 **[0013]**