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

(11) EP 0 975 923 B1

(12) # EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
19.11.2003 Patentblatt 2003/47

(21) Anmeldenummer: **98924120.3**

(22) Anmeldetag: **15.04.1998**

(51) Int Cl.[7]: **F25J 1/02**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP98/02198

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 98/048227 (29.10.1998 Gazette 1998/43)

(54) **VERFAHREN ZUM VERFLÜSSIGEN EINES KOHLENWASSERSTOFF-REICHEN STROMES**

METHOD FOR LIQUEFYING A STREAM RICH IN HYDROCARBONS

PROCEDE DE LIQUEFACTION D'UN COURANT RICHE EN HYDROCARBURES

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE DK

(30) Priorität: **18.04.1997 DE 19716415**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.02.2000 Patentblatt 2000/05

(73) Patentinhaber:
- **Linde Aktiengesellschaft**
  65189 Wiesbaden (DE)
- **DEN NORSKE STATS OLJESELSKAP A.S.**
  4035 Stavanger (NO)

(72) Erfinder:
- **STOCKMANN, Rudolf**
  D-86807 Buchloe (DE)
- **FÖRG, Wolfgang**
  D-82057 Icking (DE)
- **BÖLT, Manfred**
  D-82140 Olching (DE)
- **STEINBAUER, Manfred**
  D-82538 Geretsried (DE)
- **PFEIFFER, Christian**
  D-82131 Gauting (DE)
- **PAUROLA, Pentti**
  N-4046 Hafrsfjord (NO)
- **FREDHEIM, Arne, Olav**
  N-7046 Trondheim (NO)
- **SORENSEN, Oystein**
  N-7024 Trondheim (NO)

(74) Vertreter: **Zahn, Christoph**
LINDE AKTIENGESELLSCHAFT,
Zentrale Patentabteilung
82049 Höllriegelskreuth (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A- 3 521 060
GB-A- 895 094
GB-A- 1 208 196

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 0 975 923 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verflüssigen eines Kohlenwasserstoff-reichen Stromes, insbesondere eines Erdgas-Stromes, durch indirekten Wärmetausch mit den Kältemitteln einer Kältemittelgemischkreislaufkaskade, wobei die Kältemittelgemischkreislaufkaskade aus wenigstens 3 unterschiedliche Kältemittelzusammensetzungen aufweisenden Kältemittelgemischkreistäufen besteht, der erste der 3 Kältemittelgemischkreisläufe der Vorkühlung, der zweite Kältemittelgemischkreislauf der Verflüssigung und der dritte Kältemittelgemischkreislauf der Unterkühlung des zu verflüssigenden Kohlenwasserstoff-reichen Stromes dient.

[0002] Auf möglicherweise notwendige Vorbehandlungsschritte des Kohlenwasserstoff-reichen Stromes vor der Verflüssigung, wie z. B. Sauergas- und/oder Quecksilber-Entfernung, Entfernung von aromatischen Komponenten, etc., die nicht Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind, wird im folgenden nicht näher eingegangen werden.

[0003] Heutzutage werden die meisten Baseload-LNG-Anlagen als sog. Dual-Flow-Refrigeration-Prozesse ausgelegt. Hierbei wird die für die Verflüssigung des Kohlenwasserstoff-reichen Stromes bzw. des Erdgases benötigte Kälteenergie mittels zweier separater Kältemittelgemischkreisläufe, die zu einer Kältemittelgemischkreislaufkaskade geschaltet sind, bereitgestellt. Ein derartiges Verflüssigungsverfahren ist z. B. aus der GB-PS 895 094 bekannt.

[0004] Des weiteren sind Verflüssigungsverfahren bekannt, bei denen die für die Verflüssigung benötigte Kälteenergie mittels einer Kältemittelkreisiaufkaskade, nicht jedoch einer Kältemittelgemischkreislaufkaskade bereitgestellt wird; siehe z. B. LINDE-Berichte aus Technik und Wissenschaft, Heft 75/1997, Seite 3 - 8. Die darin beschriebene Kältemittelkreislaufkaskade besteht aus einem Propan- oder Propylen-, einem Ethan- oder Ethylen- und einem Methan-Kältekreistauf. Diese Kältemittelkreislaufkaskade kann zwar als energetisch optimiert angesehen werden, ist jedoch aufgrund der 9 Verdichterstufen vergleichsweise kompliziert.

[0005] Femer sind, wie z. B. in der DE-AS 19 60 301 beschrieben, Verflüssigungsverfahren bekannt, bei denen die für die Verflüssigung benötigte Kälteenergie mittels einer Kaskade, bestehend aus einem Kältemittelgemischkreislauf sowie einem Propan-Vorkühlungskreislauf, bereitgestellt wird.

[0006] Ein gattungsgemäßes Verfahren ist aus der DE-A 35 21 060 bekannt. Diese Verfahrensweise ist jedoch nach diesseitigem Wissen bisher niemals realisiert worden. Der Grund hierfür dürfte darin liegen, dass das in der DE-A 35 21 060 beschriebene verfahren anlagentechnisch vergleichweise aufwendig ist und zudem einen vergleichweise hohen Investitionsbedarf aufweist.

[0007] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein gattungsgemäßes Verfahren zum Verflüssigen eines Kohlenwasserstoff-reichen Stromes, insbesondere eines Erdgas-Stromes, anzugeben, das gegenüber den genannten Verflüssigungsprozessen einen verringerten spezifischen Energieverbrauch aufweist und dabei die Realisierung einer geringeren Antagengröße und damit verbunden geringeren Investitionskosten ermöglicht.

[0008] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Kältemittelgemische aller Kältemittelgemischkreisläufe verdampft und überhitzt und mittels kaltansaugender Verdichter verdichtet werden, wobei das Kältemittelgemisch des dritten Kältemittelgemischkreislaufes nur gegen den Kohlenwasserstoff-reichen Strom und gegen sich selbst verdampft und überhitzt wird.

[0009] Derartige kaltansaugende Verdichter besitzen den Vorteil, daß das anzusaugende Medium vor dem Ansaugen nicht bis auf Umgebungstemperatur erwärmt werden muß, wodurch Heizfläche eingespart und damit die Wärmetauscher kleiner dimensioniert und billiger hergestellt werden können. Die kaltansaugende Verdichtung ermöglicht somit auch die Realisierung eines Verflüssigungsprozesses, der gegenüber den bekannten Verflüssigungsprozessen einen verringerten spezifischen Energieverbrauch aufweist.

[0010] Der erste der drei Kältemittelgemischkreisläufe der Kältemittelgemischkreislaufkaskade - der sog. Precooling Refrigerant Cycle (PRC) - dient der Kühlung und der partiellen oder gänzlichen Kondensation der für die Verflüssigung und für die Unterkühlung benötigten Kältemittelgemische sowie der Vorkühlung des Kohlenwasserstoff-reichen Stromes. Der zweite Kältemittelgemischkreislauf - der sog. Liquefaction Refrigerant Cycle (LRC) - dient der partiellen oder gänzlichen Kondensation des für die Unterkühlung benötigten Kältemittelgemisches und der Kondensation des Kohlenwasserstoff-reichen Stromes. Der dritte Kältemittelgemischkreislauf - der sog. Subcooling Refrigerant Cycle (SRC) - dient der notwendigen Unterkühlung des verflüssigten Kohlenwasserstoff-reichen Stromes und der Unterkühlung des SRC-Kältemittelgemischkreislaufes selbst.

[0011] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird für den ersten der drei Kältemittelgemischkreisläufe als Kältemittel ein Gemisch aus Ethylen oder Ethan, Propan und Butan verwendet. Dieser PRC-Kältemittelgemischkreislauf dient der Kältemittelbereitstellung in einem Temperaturbereich von Umgebungstemperatur bis zwischen ca. -35 und ca. -55°C. Gemäß einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird für den zweiten der drei Kältemittelgemischkreisläufe als Kältemittel ein Gemisch aus Methan, Ethylen oder Ethan und Propan verwendet. Für den dritten der drei Kältemittelgemischkreisläufe wird vorzugsweise als Kältemittel ein Gemisch aus Stickstoff, Methan und Ethylen oder Ethan verwendet. Während der zweite bzw. LRC-Kältemittelgemischkreislauf Kälteenergie in einem Temperaturintervall von ca. -40 bis ca. -100°C bereitstellt, dient der dritte bzw. SRC-Kältemittelgemischkreislauf der Käl-

tebereitstellung bis zwischen ca. -85 und ca. -160°C.

[0012] Die erfindungsgemäße Verfahrensführung führt zu einer Verringerung des spezifischen Energieverbrauchs und der Investitionskosten, da die drei Kältemittelgemischkreisläufe optimal an die Enthalpie-Temperaturkurven des zu verflüssigenden Kohlenwasserstoff-reichen Stromes sowie der Kältemittelgemische angepaßt sind bzw. angepaßt werden können. Durch diese im Vergleich zu einem Dual-Flow-Refrigeration-Prozeß effizientere Verfahrensweise läßt sich entweder die benötigte Verflüssigungsanlage verkleinern und damit die Kosten der Anlage verringern oder die Kapazität des zu verflüssigenden Kohlenwasserstoff-reichen Stromes kann bei gleichbleibender Anlagengröße vergrößert werden.

[0013] Das erfindungsgemäße Verfahren sowie weitere Ausgestaltungen desselben seien anhand der Figuren 1 bis 5 näher erläutert.

[0014] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt die für die Verflüssigung des Kohlenwasserstoff-reichen Stromes benötigte Kältemittelbereitstellung durch wenigstens drei Kältemittelgemischkreisläufe. Der Übersichtlichkeit halber wird in den Figuren 1 bis 5 den Bezugszeichen der einzelnen Kältemittelgemischkreisläufe jeweils ein "P", "L" oder "S" für PRC-, LRC- bzw. SRC-Kältemittelgemischkreislauf vorangestellt.

[0015] Gemäß dem in der **Figur 1** dargestellten Verfahren wird ein gegebenenfalls vorbehandelter Erdgasstrom, der eine Temperatur zwischen 10 und 40°C und einen Druck zwischen 30 und 70 bar aufweist, über Leitung 1 einem ersten Wärmetauscher E1 zugeführt. In diesem Wärmetauscher E1 wird der Erdgasstrom gegen den in einem Entspannungsventil P13 entspannten Kältemittelgemisch des ersten bzw. PRC-Kältemittelgemischkreislaufes in Leitung P14 auf eine Temperatur zwischen -35 und -55°C vorgekühlt.

[0016] Das Kältemittelgemisch des dritten bzw. SRC-Kältemittelgemischkreislaufes wird dem Wärmetauscher E1 über Leitung S5 mit einer Temperatur zwischen 10 und 40°C und einem Druck zwischen 30 und 60 bar zugeführt und in dem Wärmetauscher E1 gegen das bereits erwähnte Kältemittelgemisch in Leitung P14 abgekühlt und teilweise kondensiert, wobei das Kältemittelgemisch in Leitung P 14 bei einem Druck zwischen 2 und 6 bar verdampft. Das Kältemittelgemisch des SRC-Kältemittelgemischkreislaufes verläßt den Wärmetauscher E1 über Leitung S6 mit einer Temperatur zwischen -35 und -55°C.

[0017] Das Kältemittelgemisch des zweiten bzw. LRC-Kältemittelgemischkreislaufes wird dem Wärmetauscher E1 über Leitung L5 mit einer Temperatur zwischen 10 und 40°C und einem Druck zwischen 15 und 25 bar zugeführt und in dem Wärmetauscher E1 gegen das Kältemittelgemisch des PRC-Kältemitteigemischkreislaufes in Leitung P14 kondensiert. Das Kältemittelgemisch des LRC-Kältemittelgemischkreislaufes wird aus dem Wärmetauscher E1 mit einer Temperatur zwischen -35 und -55°C abgezogen.

[0018] Das verdampfte und überhitzte Kältemittelgemisch des PRC-Kältemittelgemischkreislaufes in Leitung P14 enthält, gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Verfahrens, im wesentlichen 0 bis 40 Mol-% Ethylen oder Ethan, 30 bis 40 Mol-% Propan und 20 bis 30 Mol-% Butan. Dieses Kältemittelgemisch wird dem Abscheider P1 mit einem Druck von 2 bis 6 bar zugeführt. Das am Kopf des Abscheiders P1 über Leitung P2 abgezogene gasförmige Kältemittelgemisch wird in dem Verdichter P3 auf einen Druck zwischen 6 und 10 bar verdichtet. Anschließend erfolgt, vorzugsweise gegen Meerwasser, gegen Luft oder gegen ein entsprechendes Kühlmedium, ein Abkühlen des verdichteten Käitemitteigemisches im Kühler P4 auf eine Temperatur zwischen 10 und 40°C.

[0019] Daran anschließend wird das Kältemittelgemisch über Leitung P5 einem weiteren Abscheider P6 zugeführt. Die am Kopf des Abscheiders P6 anfallende gasförmige Fraktion des Kältemittelgemisches wird der zweiten Verdichterstufe P8 zugeführt und in dieser auf einen Druck zwischen 10 und 20 bar verdichtet. Die Flüssigfraktion aus dem Abscheider P6 wird mittels der Pumpe P7, vorzugsweise einer Zentrifugalpumpe, auf einen Druck zwischen 10 und 20 bar gepumpt und anschließend mit dem in dem Verdichter P8 verdichteten Kältemittelgemischstrom zusammengeführt.

[0020] Die Verdichtung des Kältemittelgemisches des ersten bzw. PRC-Kältemittelgemischkreislaufes erfolgt vorzugsweise in einer zweistufigen, eingehäusigen Zentrifugalkompressionsvorrichtung, die sowohl den Kühler P4 als auch den Abscheider P6 enthält. Im Falle sehr großer Mengen kann anstelle der Zentrifugalkompressionsvorrichtung auch eine Axialkompressionsvorrichtung vorgesehen werden.

[0021] Das verdichtete Kältemittelgemisch des PRC-Kältemittelgemischkreislaufes wird in dem Kühler P9, vorzugsweise gegen Meerwasser oder ein entsprechendes Kühlmedium, kondensiert und geringfügig bis zu einem Temperaturbereich von 10 bis 40°C unterkühlt. Anschließend wird das Kältemittelgemisch über die Leitung P10 dem Wärmetauscher E1 zugeführt und in diesem bis auf eine Temperatur zwischen -35 und -50°C gegen sich selbst unterkühlt.

[0022] Die Verdampfungstemperatur, die nach der Joule-Thomson-Entspannung im Entspannungsventil P13 - oder alternativ dazu in einer Entspannungsturbine - erzielt werden kann, hängt im wesentlichen von dem Grad der Unterkühlung vor der Expansion sowie von dem Verdampfungsdruck im Temperaturbereich zwischen -38 und -53°C ab.

[0023] Der zweite bzw. LRC-Kältemittelgemischkreislauf dient, wie bereits eingangs erwähnt, der Verflüssigung des vorgekühlten Erdgasstromes in Leitung 2. Das Kältemittelgemisch dieses LRC-Kältemittelgemischkreislaufes besteht im wesentlichen aus einem Gemisch aus 5 bis 15 Mol-% Methan, 0 bis 80 Mol-% Ethylen oder Ethan und 10 bis 20 Mol-% Propan. Der vorgekühlte Erdgasstrom wird dem Wärmetauscher E2 über

Leitung 2 zugeführt, in diesem bis auf eine Temperatur zwischen -80 und -100°C abgekühlt und anschließend über Leitung 3 aus dem Wärmetauscher E2 abgezogen.

[0024] Das Kältemittelgemisch des dritten bzw. SRC-Kältemittelgemischkreislaufes wird dem Wärmetauscher E2 über Leitung S6 mit einer Temperatur zwischen -35 und -50°C zugeführt und gegen das Kältemittel des LRC-Kältemittelgemischkreislaufes in der Leitung L10 kondensiert. Das Kältemittelgemisch in der Leitung L10 verdampft auf einem Druckniveau zwischen 1,5 und 6 bar. Das abgekühlte Kältemittelgemisch des SRC-Kältemittelgemischkreislaufes wird mit einer Temperatur zwischen -80 und -100°C über Leitung S7 aus dem Wärmetauscher E2 abgezogen.

[0025] Das verdampfte und überhitzte Kältemittelgemisch des LRC-Kältemittelgemischkreislaufes in der Leitung L10 wird dem Abscheider L1 mit einem Druck zwischen 1,5 und 6 bar zugeführt. Das am Kopf des Abscheiders L1 anfallende gasförmige Kältemittelgemisch wird über Leitung L2 dem Verdichter L3 zugeführt und in diesem auf einen Druck zwischen 10 und 20 bar verdichtet. Der Verdichter E3 ist vorzugsweise als ein eingehäusiger Axial- oder Zentrifugalverdichter ausgebildet. Derartige kaltansaugende Verdichter besitzen den Vorteil, daß das anzusaugende Medium vor dem Ansaugen nicht bis auf Umgebungstemperatur erwärmt werden muß, wodurch Heizfläche eingespart und damit die Wärmetauscher kleiner dimensioniert und billiger hergestellt werden können.

[0026] Das verdichtete Kältemittelgemisch des LRC-Kältemittelgemischkreislaufes wird in dem Kühler L4, vorzugsweise gegen Meerwasser oder ein entsprechendes Kühlmedium, bis auf eine Temperatur zwischen 10 und 40°C abgekühlt. Das aus dem Kühler L4 über Leitung L5 abgezogene Kältemittelgemisch wird, wie bereits erwähnt, in dem Wärmetauscher E1 verflüssigt, über Leitung L6 dem Wärmetauscher E2 zugeführt und in diesem bis auf eine Temperatur zwischen -80 und -100°C gegen sich selbst unterkühlt. Die Verdampfungstemperatur des Kältemittelgemisches nach der Joule-Thomson-Entspannung im Entspannungsventil L9 - oder alternativ dazu in einer Entspannungsturbine - liegt zwischen -82 und -112°C.

[0027] Der dritte bzw. SRC-Kältemittelgemischkreislauf dient der Unterkühlung des verflüssigten Kohlenwasserstoff-reichen Stromes bzw. Erdgasstromes. Diese Unterkühlung ist sinnvoll bzw. notwendig, damit nicht mehr als die benötigte Menge des Flash-Gases nach der Expansion des verflüssigten Kohlenwasserstoff-reichen Stromes in einer stromabwärts angeordneten Stickstoff-Entfernungs-Einheit anfällt.

[0028] Das Kältemittelgemisch des dritten bzw. SRC-Kältemittelgemischkreislaufes besteht, gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens, im wesentlichen aus einem Gemisch von 0 bis 10 Mol-% Stickstoff, 40 bis 65 Mol-% Methan und 0 bis 40 Mol-% Ethylen oder 0 bis 30 Mol-% Ethan.

[0029] Der über Leitung 3 dem Wärmetauscher E3 zugeführte verflüssigte Kohlenwasserstoff-reiche Strom wird in dem Wärmetauscher E3 bis auf eine Temperatur von -150 bis -160°C unterkühlt. Nach dieser Unterkühlung wird der Kohlenwasserstoff-reiche bzw. Erdgas-Strom über Leitung 4 aus dem Wärmetauscher E3 abgezogen und im wesentlichen auf atmosphärischen Druck mittels einer Joule-Thomson-Entspannung im Entspannungsventil 5 - oder alternativ dazu in einer Entspannungsturbine - entspannt.

[0030] Das dem Wärmetauscher E3 über Leitung S9 zugeführte Kältemittelgemisch des dritten bzw. SRC-Kältemittelgemischkreislaufes wird in dem Wärmetauscher E3 unterkühlt und anschließend im Entspannungsventil S10 ebenfalls einer Joule-Thomson-Entspannung unterworfen. Anstelle des Entspannungsventil S10 kann wiederum eine Entspannungsturbine vorgesehen werden. Die Entspannung im Entspannungsventil S10 erfolgt auf einem Druckniveau zwischen 2 und 6 bar. Die Verdampfung des Kältemittelgemisches im Wärmetauscher E3 dient sowohl der Unterkühlung des bereits verflüssigten Kohlenwasserstoff-reichen Stromes als auch der Eigenunterkühlung des noch nicht entspannten Kältemittelgemisches des SRC-Kältemittelgemischkreislaufes.

[0031] Das verdampfte und überhitzte Kältemittelgemisch des SRC-Kältemittelgemischkreislaufes wird über Leitung S11 einem Abscheider S1 zugeführt. Das am Kopf des Abscheiders S1 anfallende gasförmige Kältemittelgemisch wird über Leitung S2 einem Verdichter S3 zugeführt. In dem Verdichter S3 erfolgt eine Verdichtung des Kältemittelgemisches auf einem Druck zwischen 35 und 60 bar. Das aus dem Verdichter S3 austretende Kältemittelgemisch wird anschließend in dem Kühler S4, vorzugsweise gegen Meerwasser oder ein entsprechendes Kühlmedium, abgekühlt.

[0032] Jeder der drei Kältemitteigemischkreisläufe weist, gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens, stromabwärts des jeweiligen Entspannungsventiles P13, L9 bzw. S10 einen Abscheider/Speicherbehältern P11, L7 bzw. S8 auf. Prinzipiell können diese Abscheider/Speicherbehältern auch an jeder anderen geeigneten Stelle der Kältemittelgemischkreisläufe vorgesehen werden.

[0033] Aus diesen Abscheidern/Speicherbehältern P11, L7 und S8 wird die Flüssigfraktion über die Leitungen P16, L12 bzw. S13 abgezogen und der jeweils dampfförmigen Kopffraktion (Flashgas) des Kältemittelgemisches zugeführt. Durch diese Verfahrensweise wird eine gute Verteilung von Flüssigkeit und Gas und damit ein guter Wärmeübergang in den Wärmetauschern E1, E2 und E3, insbesondere wenn es sich um sog. Plate-Fin-Typ-Wärmetauscher handelt, gewährleistet.

[0034] In den Leitungen P16, L12 und S13 sind Regelventile P15, L11 bzw. S12 vorgesehen. Diese Regelventile dienen dazu, den Flüssigkeitsstand innerhalb der Abscheider/Speicherbehälter P 11, L7 bzw. S8 zu

regulieren.

[0035] Im Falle eines Anlagenstillstandes werden die Regelventile P15, L11 und S12 geschlossen, so daß die Abscheider/Speicherbehälter P11, L7 und S8 mit dem Kältemittelgemisch des jeweiligen Kältemittelgemischkreislaufes befüllt werden; dazu ist es sinnvoll, daß zusätzlich am Kopf der Abscheider/Speicherbehälter P11, L7 und S8 Regelventile - die in den Figuren 1 bis 5 nicht dargestellt sind - vorgesehen werden. Dadurch wird eine Speicherung des Kältemittelgemisches am kältesten Punkt des jeweiligen Kältemittelgemischkreislaufes ermöglicht, wodurch die Anfahrprozedur bei der Wiederinbetriebnahme beschleunigt wird. Die Abscheider/Speicherbehälter P11, L7 und S8 sind vorzugsweise so zu dimensionieren, daß sie die gesamte Kältemittelgemischmenge eines Kältemittelgemischkreislaufes speichern können.

[0036] Das erfindungsgemäße Verfahren weiterbildend wird vorgeschlagen, daß die Verdichter P8, P3, L3 und S3 von lediglich einem Gasturbinenantrieb G angetrieben werden; dargestellt durch die strichpunktierte Linie (Anmerkung: Auch wenn bei den Figuren 3 bis 5 die Bezeichnungen der Verdichter bzw. Verdichterstufen gegenüber den Figuren 1 und 2 geändert sind, so sei durch die strichpunktierte Linie klargestellt, daß auch bei diesen Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens lediglich ein Verdichter-Antrieb erforderlich ist.).

[0037] In der **Figur 2** ist ein Verflüssigungsverfahren für Erdgas dargestellt, das im wesentlichen identisch mit demjenigen der Figur 1 ist. Der erste, zweite und dritte bzw. PRC-, LRC- und SRC-Kältemittelgemischkreislauf sind der Übersichtlichkeit halber jedoch nur teilweise dargestellt.

[0038] Der zu verflüssigende Kohlenwasserstoff-reiche Strom bzw. Erdgasstrom wird dem Wärmetauscher E1 über Leitung 1 zugeführt. Auf einem entsprechend gewählten Temperaturniveau wird er aus dem Wärmetauscher E1 über Leitung 1' abgezogen und einer Trennkolonne T1, die einen Reboiler R1 aufweist, zugeführt. Diese Trennkolonne T1 dient der Abtrennung von schweren Kohlenwasserstoffen, die am Sumpf der Trennkolonne T1 über Leitung 8 abgezogen werden.

[0039] Das am Kopf der Trennkolonne T1 anfallende, an schweren Kohlenwasserstoffen abgereicherte Erdgas wird über Leitung 2' wiederum dem Wärmetauscher E1 zugeführt. In diesem wird es weiter abgekühlt und als teilkondensierter Strom über Leitung 2" einem Abscheider D zugeführt. Die im Sumpf des Abscheiders D anfallende Flüssigfraktion wird mittels der Pumpe P1 über Leitung 2"' als Rücklauf auf den Kopf der Trennkolonne T1 gegeben. Die am Kopf des Abscheiders anfallende Kohlenwasserstoff-reiche Fraktion wird über Leitung 2 dem Wärmetauscher E2 zugeführt und in diesem verflüssigt. Über Leitung 3 gelangt der verflüssigte Kohlenwasserstoff-reiche Strom anschließend in den Wärmetauscher E3, in dem er unterkühlt wird.

[0040] Der unterkühlte verflüssigte Kohlenwasserstoff-reiche Strom wird anschließend über Leitung 4 der Trennkolonne T2 zugeführt, wobei er zum Zwecke des Beheizens des Reboilers R2 vor der Entspannung im Entspannungsventil 5 durch den Kolonnensumpf geführt wird.

[0041] Die Trennkolonne T2 dient der Abtrennung von Stickstoff und Methan, wobei ein an diesen beiden Komponenten reicher Strom am Kopf der Trennkolonne T2 über Leitung 6 abgezogen wird. Dieser über Leitung 6 abgezogene Stickstoff- und Methan-reiche Strom - das sog. Tail-Gas - wird im Wärmetauscher E4 gegen einen Teilstrom des am Kopf des Abscheiders D abgezogenen Kohlenwasserstoff-reichen Stromes, der dem Wärmetauscher E4 über Leitung 9 zugeführt wird, angewärmt. Der dabei verflüssigte Kohlenwasserstoff-reiche Teilstrom wird anschließend über Leitung 10 und Entspannungsventil 11 ebenfalls auf die Trennkolonne T2 - entweder auf dem gleichen Boden oder einem beliebigen Boden unterhalb der Zuführstelle des Kohlenwasserstoff-reichen Stromes in der Leitung 4 - gegeben.

[0042] Das aus dem Sumpf der Trennkolonne T2 abgezogene, verflüssigte und unterkühlte Erdgas wird mittels der Pumpe P2 über Leitung 7 einer Speicherung zugeführt.

[0043] **Figur 3** zeigt eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Bei dieser Ausführungsform ist, gegenüber der in der Figur 1 dargestellten Ausführungsform, der erste bzw. PRC-Kältemittelgemischkreislauf modifiziert. Die LRC- und SRC-Kältemittelgemischkreisläufe hingegen sind identisch zu denjenigen, wie in der Figur 1 dargestellt.

[0044] Das verdichtete (P3) Kältemittelgemisch wird im Kühler P4 auf eine Temperatur zwischen 10 und 40°C abgekühlt und dabei verflüssigt. Anschließend wird es dem Wärmetauscher E1 über Leitung P10 zugeführt und in diesem unterkühlt. Ein Teilstrom des unterkühlten Kältemittelgemisches wird im Entspannungsventil P13 - oder alternativ dazu in einer Entspannungsturbine - entspannt und im Wärmetauscher E1 wieder verdampft. Anschließend wird dieser Kältemittelgemischteilstrom über Leitung P14 dem Abscheider P1 mit einem Druck von 2 bis 6 bar zugeführt. Das am Kopf des Abscheiders P1 über Leitung P2 abgezogene gasförmige Kältemittelgemisch wird in dem Verdichter P3 auf einen Druck zwischen 6 und 10 bar verdichtet.

[0045] Ein zweiter Teilstrom des verflüssigten und unterkühlten Kältemittelgemisches wird auf einem höheren Temperaturniveau aus dem Wärmetauscher E1 abgezogen und im Entspannungsventil P17 - oder alternativ dazu in einer Entspannungsturbine - entspannt. Der Übersichtlichkeit halber werden der nach dem Entspannungsventil P17 vorsehbare Abscheider/Speicherbehälter sowie die entsprechenden Regelventile in der Figur nicht dargestellt. Nach erfolgter Entspannung P17 wird dieser Teilstrom des Kältemittelgemisches ebenfalls im Wärmetauscher E1 verdampft und über Leitung P18 dem Abscheider P6 zugeführt. Das am Kopf des Abscheiders P6 über Leitung P19 abgezogene gasför-

mige Kältemittelgemisch wird ebenfalls dem Verdichter P3 auf einer Zwischendruckstufe zugeführt.

[0046] Nach der Vermischung und Verdichtung der beiden beschriebenen Kältemittelgemischteilströme auf ca. 15 bis 20 bar in dem Verdichter P3, erfolgt, vorzugsweise gegen Meerwasser, gegen Luft oder gegen ein entsprechendes Kühlmedium, ein Abkühlen und Verflüssigen des verdichteten Kältemittelgemisches im Kühler P4 bei einer Temperatur zwischen 10 und 40°C.

[0047] Diese Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens weist gegenüber der in der Figur 1 dargestellten Ausführungsform folgende Vor- und Nachteile auf:

[0048] Das Enthalpie-Temperatur-Diagramm des zu verdampfenden und anzuwärmenden Kältemittelgemischstromes des PRC-Kältemittelgemischkreislaufes kann besser an die Enthalpie-Temperatur-Diagramme aller abzukühlenden Ströme (Erdgas-Strom, PRC-, LRC- und SRC-Kältemittelgemischkreislauf) angepaßt werden. Der sehr große Gasstrom auf der Saugseite des Verdichters P3 wird auf zwei Ströme aufgeteilt. Dies macht zusätzliche Rohrleitungen und Regeleinrichtungen erforderlich. Die Abmessungen der Rohrleitungen sind jedoch kleiner. Insgesamt ist der Energieverbrauch dieser Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens geringer.

[0049] Die **Figuren 4 und 5** zeigen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens. Bei diesen Ausführungsformen sind, gegenüber der in der Figur 1 dargestellten Ausführungsform, der erste bzw. PRC- und/oder der zweite bzw. LRC-Kältemittelgemischkreislauf modifiziert. Der SRC-Kältemittelgemischkreislauf hingegen ist identisch zu denjenigen, wie in den Figuren 1 und 3 dargestellt. Der Übersichtlichkeit halber wird deshalb auf eine vollständige Darstellung des SRC-Kältemittelgemischkreislaufes verzichtet.

[0050] Bei der in der **Figur 4** dargestellten Ausführungsform ist zudem der erste bzw. PRC-Kältemittelgemischkreislauf identisch zu demjenigen, wie in der Figur 3 dargestellt.

[0051] Das verdichtete und anschließend im Kühler L4 auf eine Temperatur zwischen 10 und 40°C abgekühlte Kältemittelgemisch des zweiten bzw. LRC-Kältemittelgemischkreislaufes wird zunächst dem Wärmetauscher E1 über Leitung L5 zugeführt und in diesem verflüssigt. Anschließend wird das Kältemittelgemisch über Leitung L6 dem Wärmetauscher E2 zugeführt und in diesem unterkühlt. Ein Teilstrom des unterkühlten Kältemittelgemisches wird im Entspannungsventil L9 - oder alternativ dazu in einer Entspannungsturbine - entspannt und im Wärmetauscher E2 verdampft. Anschließend wird dieser Kältemittelgemischteilstrom über Leitung L10 dem Abscheider L1 zugeführt. Das am Kopf des Abscheiders L1 über Leitung L2 abgezogene gasförmige Kältemittelgemisch wird in dem Verdichter L3 auf einen Druck zwischen 10 und 20 bar verdichtet.

[0052] Ein zweiter Teilstrom des unterkühlten Kältemittelgemisches des LRC-Kältemittelgemischkreislaufes wird auf einem höheren Temperaturniveau aus dem Wärmetauscher E2 abgezogen und im Entspannungsventil L13 - oder alternativ dazu in einer Entspannungsturbine - entspannt. Der Übersichtlichkeit halber werden der nach dem Entspannungsventil L13 vorsehbare Abscheider/Speicherbehälter sowie die entsprechenden Regelventile in der Figur nicht dargestellt. Nach erfolgter Entspannung L13 wird dieser Teilstrom des Kältemittelgemisches ebenfalls im Wärmetauscher E2 verdampft und über Leitung L14 dem Abscheider L15 zugeführt. Das am Kopf des Abscheiders L15 über Leitung L16 abgezogene gasförmige Kältemittelgemisch wird ebenfalls dem Verdichter L3 auf einer Zwischendruckstufe zugeführt.

[0053] Nach der Vermischung der beiden beschriebenen Kältemittelgemischteilströme in dem Verdichter L3 erfolgt, vorzugsweise gegen Meerwasser, gegen Luft oder gegen ein entsprechendes Kühlmedium, ein Abkühlen des verdichteten Kältemittelgemisches im Kühler L4 auf eine Temperatur zwischen 10 und 40°C.

[0054] Diese Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens weist gegenüber der in der Figur 1 bzw. 3 dargestellten Ausführungsform folgende Vor- und Nachteile auf:

[0055] Auch hier können die Enthalpie-Temperatur-Diagramme der abzukühlenden und anzuwärmenden Ströme besser aneinander angepaßt werden. Ob die durch diese Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erreichbare Energieeinsparung den Mehraufwand für die komplexere Verfahrensführung bzw. Anlage rechtfertigt, ist im Einzelfall zu prüfen.

[0056] Im Falle der in der **Figur 5** dargestellten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist gegenüber der in der Figur 1 dargestellten Ausführungsform lediglich der zweite bzw. LRC-Kältemittelgemischkreislauf modifiziert.

[0057] Das verdichtete und anschließend im Kühler L21 auf eine Temperatur zwischen 10 und 40°C abgekühlte und partiell verflüssigte Kältemittelgemisch wird zunächst über Leitung L5 einem Abscheider L13 zugeführt. Der gasförmige Anteil des Kältemittelgemisches wird am Kopf des Abscheiders L13 über Leitung L6 abgezogen, in dem Wärmetauscher E1 verflüssigt und in dem Wärmetauscher E2 unterkühlt. Anschließend wird das Kältemittelgemisch im Entspannungsventil L9 - oder alternativ dazu in einer Entspannungsturbine - entspannt und im Wärmetauscher E2 verdampft, wonach es über Leitung L10 dem Abscheider L1 zugeführt wird.

[0058] Der flüssige Anteil des Kältemittelgemisches wird aus dem Sumpf des Abscheiders L13 über Leitung L14 abgezogen, in dem Wärmetauscher E1 unterkühlt und in dem Wärmetauscher E2 bis auf ein weniger tiefes Temperaturniveau gebracht. Anschließend wird dieser verflüssigte und unterkühlte Kältemittelgemischteilstrom im Entspannungsventil L15 - oder alternativ dazu in einer Entspannungsturbine - entspannt, ebenfalls im Wärmetauscher E2 verdampft und dem verdampften Kältemittelgemischteilstrom in Leitung L 10 zugemischt.

Der Übersichtlichkeit halber werden der nach dem Entspannungsventil L15 vorsehbare Abscheider/Speicherbehälter sowie die entsprechenden Regelventile in der Figur 5 nicht dargestellt.

[0059] Das am Kopf des Abscheiders L1 über Leitung L2 abgezogene gasförmige Kältemittelgemisch wird in dem Verdichter L3 auf einen Druck zwischen 6 und 10 bar verdichtet. Anschließend erfolgt, vorzugsweise gegen Meerwasser, gegen Luft oder gegen ein entsprechendes Kühlmedium, ein Abkühlen des verdichteten Kältemittelgemisches im Kühler L4 auf eine Temperatur zwischen 10 und 40°C.

[0060] Daran anschließend wird das Kältemittelgemisch über Leitung L16 einem weiteren Abscheider L17 zugeführt. Die am Kopf des Abscheiders L17 anfallende gasförmige Fraktion des Kältemittelgemisches wird über Leitung L18 der zweiten Verdichterstufe L19 zugeführt und in dieser auf einen Druck zwischen 12 und 25 bar verdichtet. Die Flüssigfraktion aus dem Abscheider L17 wird mittels der Pumpe L20, vorzugsweise einer Zentrifugalpumpe, auf einen Druck zwischen 12 und 25 bar gepumpt und anschließend mit dem in dem Verdichter L19 verdichteten Kältemittelgemischstrom zusammengeführt.

[0061] Die Verdichtung des Kältemittelgemisches des zweiten bzw. LRC-Kältemittelgemischkreislaufes erfolgt vorzugsweise in einer zweistufigen, eingehäusigen Zentrifugalkompressionsvorrichtung, die sowohl den Kühler L4 als auch den Abscheider L17 enthält. Im Falle sehr großer Mengen kann anstelle der Zentrifugalkompressionsvorrichtung auch eine Axialkompressionsvorrichtung vorgesehen werden.

[0062] Diese Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens weist gegenüber der in den Figur 1, 2 bzw. 3 dargestellten Ausführungsformen folgende Vor- und Nachteile auf:

[0063] Auch bei der in der Figur 5 dargestellten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens können die Enthalpie-Temperatur-Diagramme der abzukühlenden und anzuwärmenden Ströme besser aneinander angepaßt werden. Ob die durch diese Ausführungsform erreichbare Energieeinsparung den Mehraufwand für die komplexere Verfahrensführung bzw. Anlage rechtfertigt, ist wiederum im Einzelfall zu prüfen.

[0064] Unter Umständen kann es sinnvoll sein, daß die in den Figuren 1 bis 5 dargestellten Verdichter und Antriebe bei einer Verflüssigungsanlage zweifach vorgesehen sind (z. B. 2 * 50 %). Mit der damit gegebenen Redundanz läßt sich auch im Falle einer Störung einer Maschine die Produktion zu wenigstens 50 % aufrechterhalten.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verflüssigen eines Kohlenwasserstoff-reichen Stromes, insbesondere eines Erdgas-Stromes, durch indirekten Wärmetausch mit den Kältemitteln einer Kältemittelgemischkreislaufkaskade, wobei die Kältemittelgemischkreislaufkaskade aus wenigstens 3 unterschiedliche Kältemittelzusammensetzungen aufweisenden Kältemittelgemischkreisläufen besteht, der erste der 3 Kältemittelgemischkreisläufe der Vorkühlung, der zweite Kältemittelgemischkreislauf der Verflüssigung und der dritte Kältemittelgemischkreislauf der Unterkühlung des zu verflüssigenden Kohlenwasserstoff-reichen Stromes dient, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kältemittelgemische aller Kältemittelgemischkreisläufe verdampft und überhitzt und mittels kaltansaugender Verdichter (P3, L3, S3) verdichtet werden, wobei das Kältemittelgemisch (S11) des dritten Kältemittelgemischkreislaufes nur gegen den Kohlenwasserstoff-reichen Strom (3) und gegen sich selbst (S7) verdampft und überhitzt wird (E3).

2. Verfahren zum Verflüssigen eines Kohlenwasserstoff-reichen Stromes nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Kältemittelgemisch des ersten der 3 Kältemittelgemischkreisläufe (P5, P10, ...) 0 bis 70 Mol-% Ethylen oder Ethan, 30 bis 70 Mol-% Propan und 0 bis 30 Mol-% Butan enthält.

3. Verfahren zum Verflüssigen eines Kohlenwasserstoff-reichen Stromes nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Kältemittelgemisch des zweiten der 3 Kältemittelgemischkreisläufe (L5, L6, ...) 0 bis 15 Mol-% Methan, 35 bis 90 Mol-% Ethylen oder Ethan und 0 bis 20 Mol-% Propan enthält.

4. Verfahren zum Verflüssigen eines Kohlenwasserstoff-reichen Stromes nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Kältemittelgemisch des dritten der 3 Kältemittelgemischkreisläufe (S5, S6, ...) 0 bis 10 Mol-% Stickstoff, 40 bis 65 Mol-% Methan und 0 bis 45 Mol-% Ethylen oder Ethan enthält.

5. Verfahren zum Verflüssigen eines Kohlenwasserstoff-reichen Stromes nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Vorkühlung (E1), die Vetflüssigung (E2) und die Unterkühlung (E3) des zu verflüssigenden Kohlenwasserstoff-reichen Stromes (1) in wenigstens 3 Wärmetauschern (E1, E2, E3) erfolgt und das entspannte Kältemittelgemisch eines jeden der 3 Kältemittelgemischkreisläufe vor der erneuten Verdichtung (P3, L3, S3) lediglich durch den letzten Wärmetauscher (E1, E2 bzw. E3) geführt wird.

6. Verfahren zum Verflüssigen eines Kohlenwasserstoff-reichen Stromes nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die für die Verdichtung der Kältemittelgemi-

sche verwendeten Verdichter (P3, L3, S3) durch nur eine Antriebsvorrichtung (G) angetrieben werden.

7. Verfahren zum Verflüssigen eines Kohlenwasserstoff-reichen Stromes nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Antriebsvorrichtung (G) eine Gasturbinen-Antriebsvorrichtung ist.

8. Verfahren zum Verflüssigen eines Kohlenwasserstoff-reichen Stromes nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** im Falle eines Anlagen- oder Verfahrensstillstandes wenigstens das Kältemittelgemisch eines der Kältemittelgemischkreisläufe in wenigstens einem Abscheider/Speicherbehälter (P11, L7, S8) zwischengespeichert wird.

Claims

1. Process for liquefying a hydrocarbon-rich stream, in particular a natural gas stream, by indirect heat exchange with the refrigerants of a mixed-refrigerant cascade cycle, in which the mixed-refrigerant cascade cycle consists of at least 3 mixed-refrigerant cycles having different refrigerant compositions; the first of the 3 mixed-refrigerant cycles serves for precooling, the second mixed-refrigerant cycle serves for liquefying and the third mixed-refrigerant cycle serves for subcooling the hydrocarbon-rich stream to be liquefied **characterized in that** the mixed refrigerants of all mixed-refrigerant cycles are vapourized and superheated, and are compressed by cold-intake compressors (P3,L3,S3), the mixed refrigerant (S11) of the third mixed-refrigerant cycle being vapourized and superheated (E3) only in heat exchange with the hydrocarbon-rich stream (3) and in heat exchange with itself (S7).

2. Process for liquefying a hydrocarbon-rich stream according to Claim 1 **characterized in that** the mixed refrigerant of the first of the 3 mixed-refrigerant cycles (P5, P10, ...) comprises 0 to 70 mol% ethylene or ethane, 30 to 70 mol% propane and 0 to 30 mol% butane.

3. Process for liquefying a hydrocarbon-rich stream according to claim 1 or 2, **characterized in that** the mixed refrigerant of the second of the 3 mixed-refrigerant cycles (L5, L6, ...) comprises 0 to 15 mol% methane, 35 to 90 mol% ethylene or ethane and 0 to 20 mol% propane.

4. Process for liquefying a hydrocarbon-rich stream according to one of the preceding claims, **characterized in that** the mixed refrigerant of the third of the 3 mixed-refrigerant cycles (S5, S6, ...) comprises 0 to 10 mol% nitrogen, 40 to 65 mol% methane and 0 to 45 mol% ethylene or ethane.

5. Process for liquefying a hydrocarbon-rich stream according to one of the preceding claims, **characterized in that** the precooling (E1), the liquefaction (E2) and the subcooling (E3) of the hydrocarbon-rich stream (1) to be liquefied is performed in at least 3 heat exchangers (E1, E2, E3) and the expanded mixed refrigerant of each of the 3 mixed-refrigerant cycles is fed merely through the last heat exchanger (E1, E2 or E3) prior to the next compression (P3, L3, S3).

6. Process for liquefying a hydrocarbon-rich stream according to one of the preceding claims, **characterized in that** the compressors (P3, L3, S3) used for compressing the mixed refrigerants are driven by only one drive apparatus (G).

7. Process for liquefying a hydrocarbon-rich stream according to claim 6, **characterized in that** the, the drive apparatus (G) is a gas turbine drive apparatus.

8. Process for liquefying a hydrocarbon-rich stream according to one of the preceding claims, **characterized in that**, in the event of a stoppage of the plant or process, at least the mixed refrigerant of one of the mixed-refrigerant cycles is temporarily stored in at least one separator/storage vessel (P11, L7, S8).

Revendications

1. Procédé de liquéfaction d'un courant riche en hydrocarbures, en particulier d'un courant de gaz naturel, par échange thermique indirect avec les réfrigérants d'une cascade de circuits de mélange de réfrigérants, la cascade de circuits de mélange de réfrigérants se composant d'au moins 3 circuits de mélange de réfrigérants présentant des compositions de réfrigérant différentes, le premier des 3 circuits de mélange de réfrigérants servant au refroidissement préalable, le deuxième circuit de mélange de réfrigérants servant à la liquéfaction et le troisième circuit de mélange de réfrigérants servant à la surfusion du courant riche en hydrocarbures à liquéfier, **caractérisé en ce que** les mélanges de réfrigérants de tous les circuits de mélange de réfrigérants sont évaporés et surchauffés et sont comprimés au moyen de compresseurs aspirant du froid (P3, L3, S3), le mélange de réfrigérants (S11) du troisième circuit de mélange de réfrigérants n'étant évaporé et surchauffé (E3) qu'à contre-courant du courant riche en hydrocarbures (3) et de lui-même (S7).

2. Procédé de liquéfaction d'un courant riche en hy-

drocarbures selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le mélange de réfrigérants du premier des 3 circuits de mélange de réfrigérants (P5, P10,...) contient de 0 à 70% en moles d'éthylène ou d'éthane, de 30 à 70% en moles de propène et de 0 à 30% en moles de butane.

3. Procédé de liquéfaction d'un courant riche en hydrocarbures selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le mélange de réfrigérants du deuxième de 3 circuits de mélange de réfrigérants (L5, L6,...) contient de 0 à 15% en moles de méthane, de 35 à 90% en moles d'éthylène ou d'éthane et de 0 à 20% en moles de propane.

4. Procédé de liquéfaction d'un courant riche en hydrocarbures selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le mélange de réfrigérants du troisième des 3 circuits de mélange de réfrigérants (S5, S6, ...) contient de 0 à 10% en moles d'azote, de 40 à 65% en moles de méthane et de 0 à 45% en moles d'éthylène ou d'éthane.

5. Procédé de liquéfaction d'un courant riche en hydrocarbures selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le refroidissement préalable (E1), la liquéfaction (E2) et la surfusion (E3) du courant riche en hydrocarbures à liquéfier (1) se fait dans au moins 3 échangeurs thermiques (E1, E2, E3) et **en ce que** le mélange de réfrigérants détendu de chacun des 3 circuits de mélange de réfrigérants est conduit, avant la nouvelle compression (P3, L3, S3), simplement à travers le dernier échangeur thermique (E1, E2, respectivement E3).

6. Procédé de liquéfaction d'un courant riche en hydrocarbures selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les compresseurs utilisés pour la compression des mélanges de réfrigérants (P3, L3, S3) ne sont entraînés que par un dispositif d'entraînement (G) .

7. Procédé de liquéfaction d'un courant riche en hydrocarbures selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** le dispositif d'entraînement (G) est un dispositif d'entraînement à turbines à gaz.

8. Procédé de liquéfaction d'un courant riche en hydrocarbures selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, dans le cas d'un arrêt de l'installation ou du procédé, au moins le mélange de réfrigérants d'un des circuits de mélange de réfrigérants est stocké de manière intermédiaire dans au moins un condenseur/un récipient de réserve (P11, L7, S8).

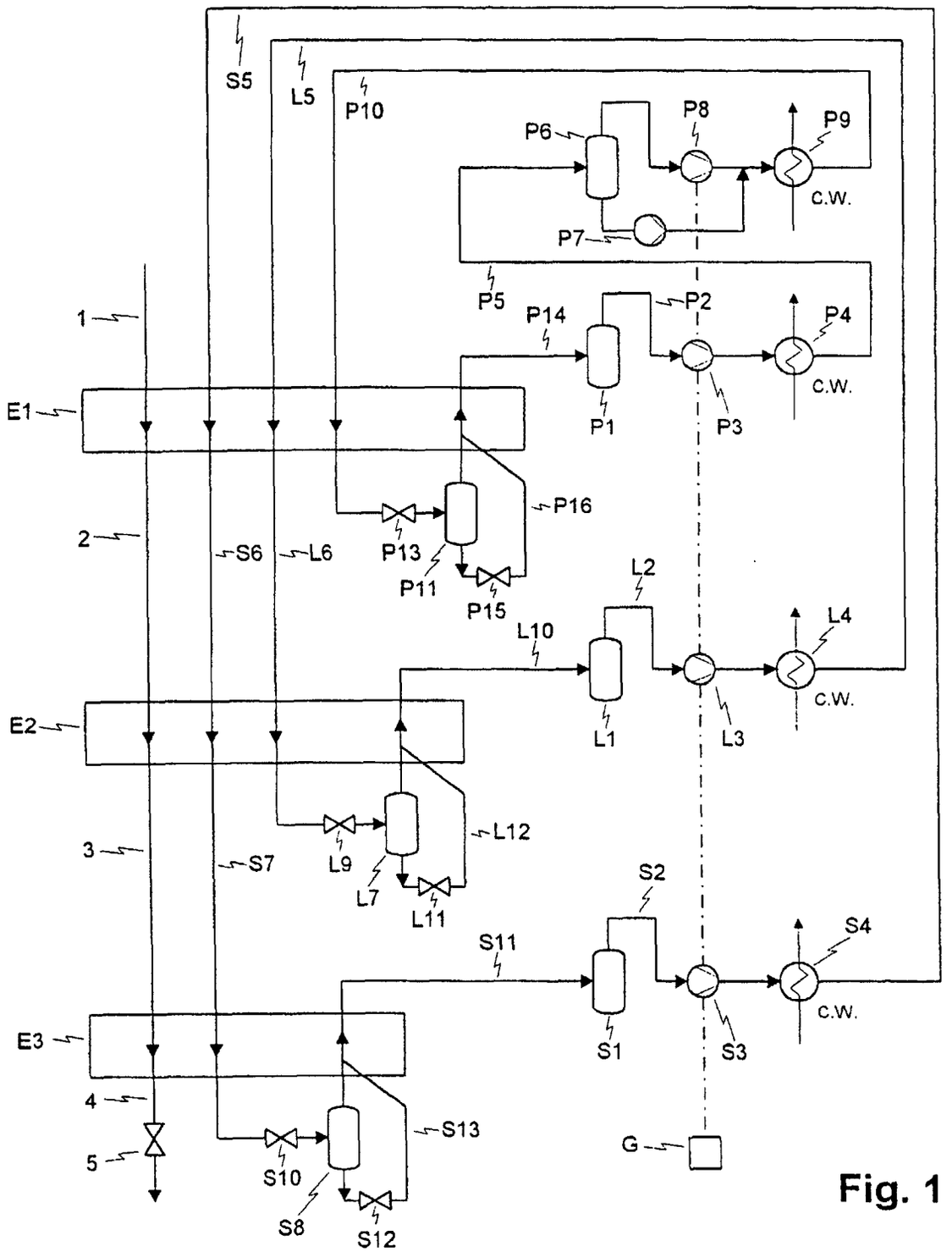

S5
L5
P10
P6
P8
P9
C.W.
P7
P5
P14
P2
P4
C.W.
1
E1
P1
P3
P16
2
S6
L6
P13
P11
P15
L2
L10
L4
C.W.
E2
L1
L3
L12
3
S7
L9
L7
L11
S2
S11
S4
C.W.
E3
S1
S3
4
S13
5
G
S10
S8
S12

Fig. 1

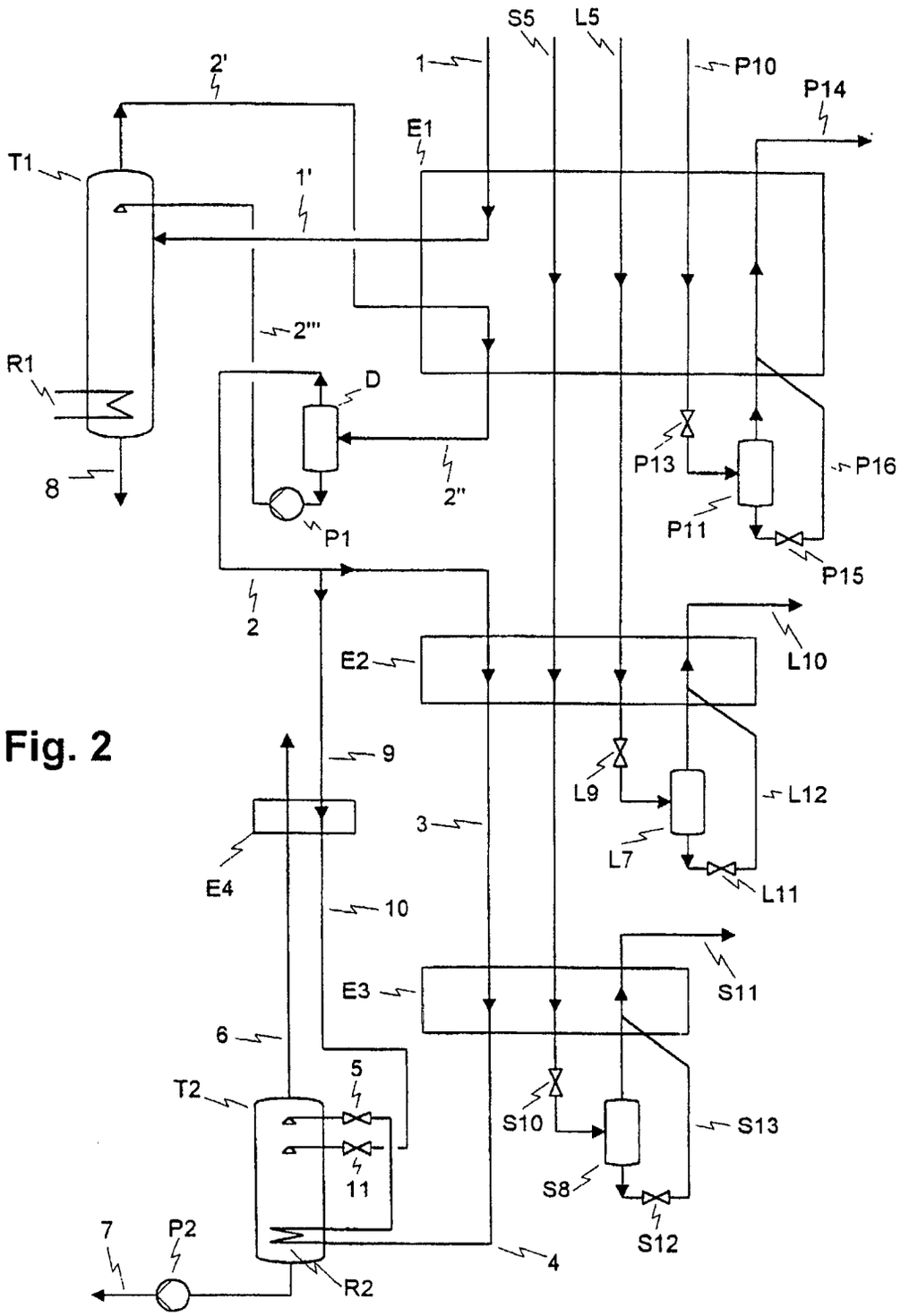

S5
L5
1
P10
P14
2'
E1
T1
1'
2'''
R1
D
P13
P16
8
2''
P11
P1
P15
2
E2
L10
9
L9
L12
3
L7
E4
L11
10
E3
S11
6
5
T2
S10
S13
11
S8
7
P2
S12
4
R2

Fig. 2

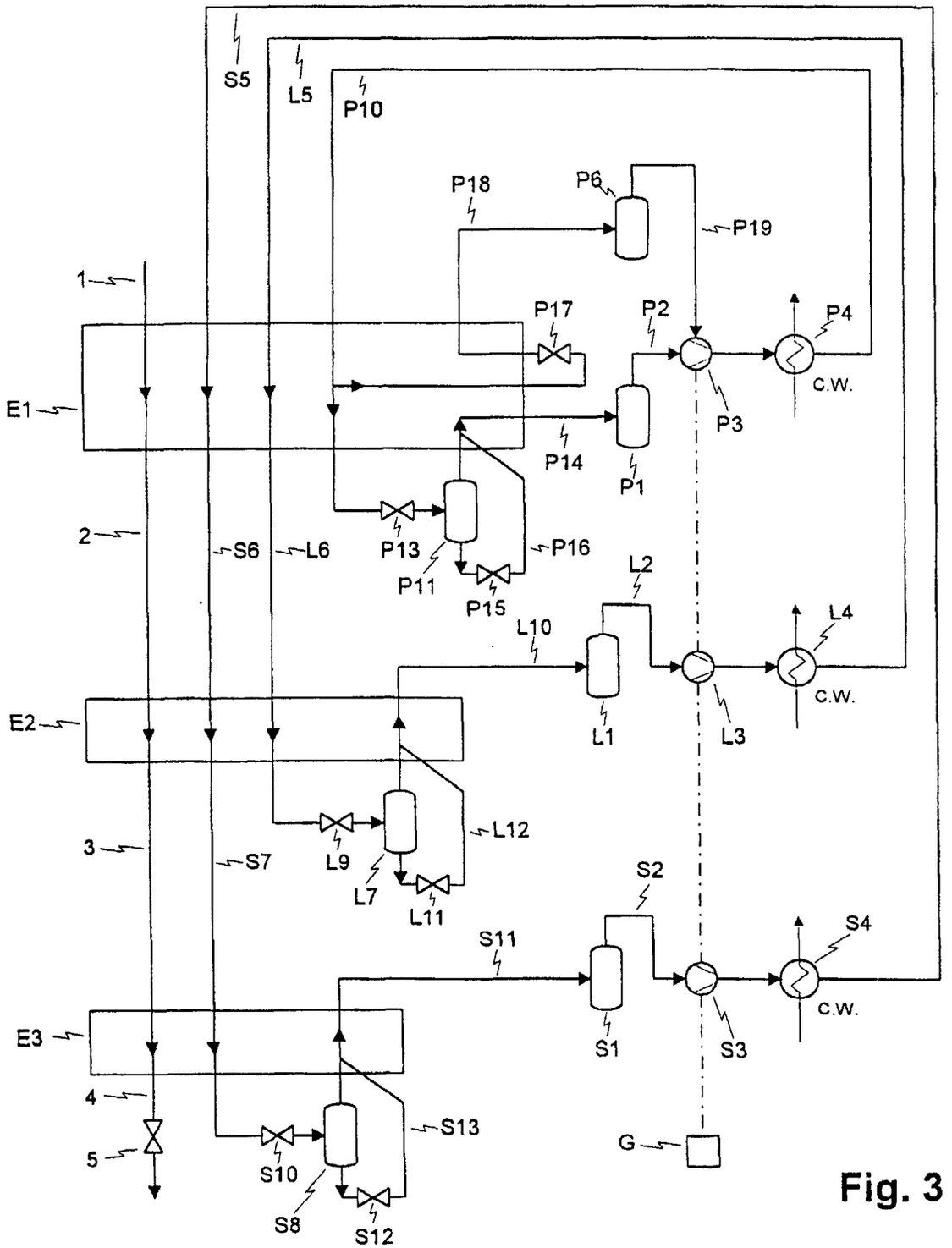

S5
L5
P10
P18
P6
P19
1
P17
P2
P4
C.W.
E1
P3
P14
P1
2
S6
L6
P13
P16
P11
P15
L2
L10
L4
C.W.
E2
L1
L3
3
S7
L9
L12
L7
L11
S2
S11
S4
C.W.
E3
S1
S3
4
S13
5
S10
G
S8
S12

Fig. 3

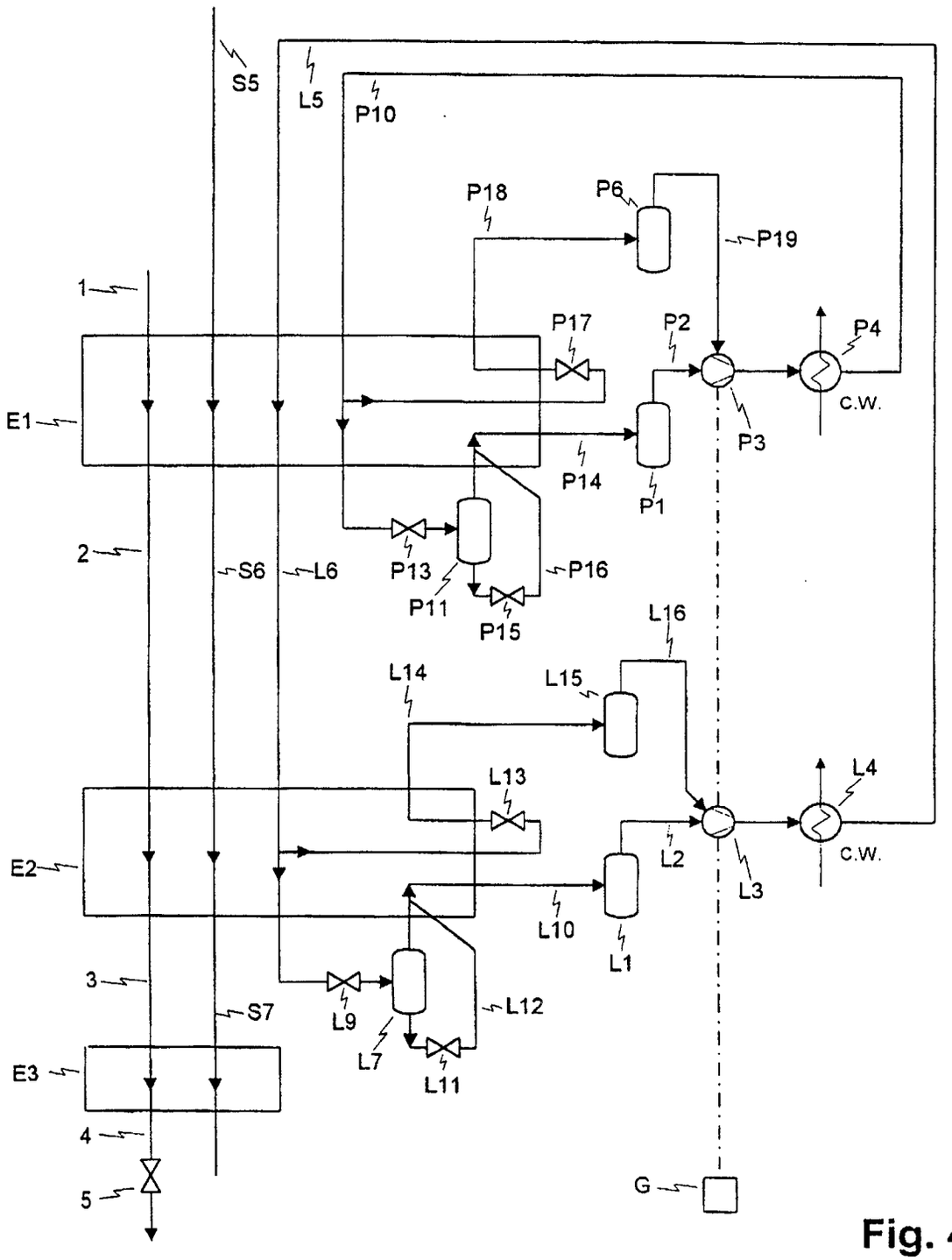

S5
L5
P10
P18
P6
P19
1
P17
P2
P4
E1
C.W.
P3
P14
P1
2
S6
L6
P13
P16
P11
P15
L16
L14
L15
L13
L4
E2
C.W.
L2
L3
L10
L1
3
S7
L9
L12
L7
L11
E3
4
5
G

Fig. 4

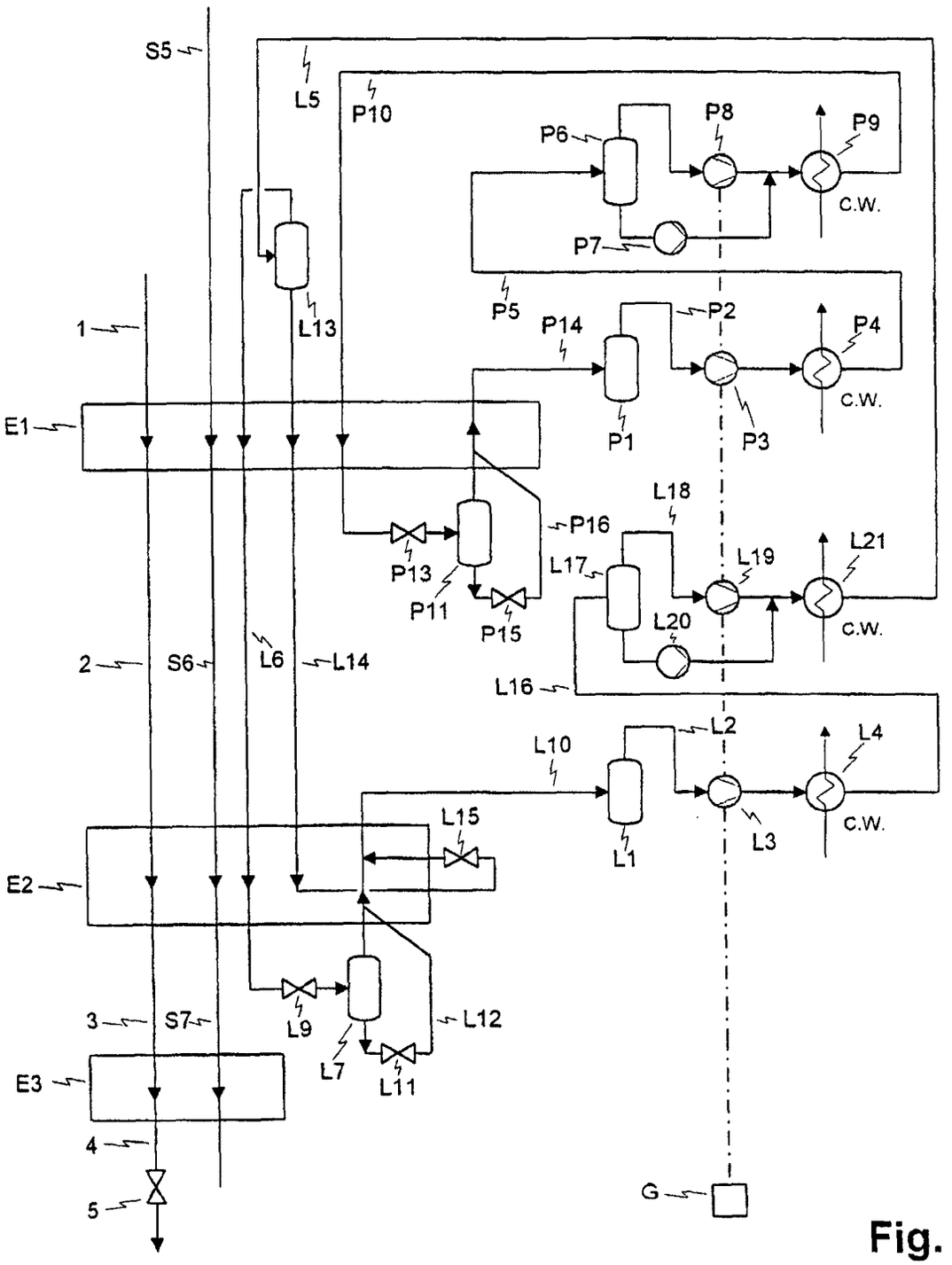

S5
L5
P10
P6
P8
P9
C.W.
P7
L13
P5
1
P14
P2
P4
C.W.
E1
P1
P3
L18
P16
P13
L17
L19
L21
P11
P15
L20
C.W.
2
S6
L6
L14
L16
L10
L2
L4
C.W.
L15
L1
L3
E2
3
S7
L9
L12
L7
L11
E3
4
5
G

Fig. 5