

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 094 286 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
15.06.2005 Patentblatt 2005/24

(51) Int Cl.7: **F25J 3/00**, F25J 3/04

(21) Anmeldenummer: **00119941.3**

(22) Anmeldetag: **13.09.2000**

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Tieftemperaturzerlegung von Luft**

Process and device for cryogenic air separation

Procédé et dispositif pour la séparation cryogénique des gaz de l'air

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**

(30) Priorität: **20.10.1999 DE 19950570**
07.02.2000 EP 00102564

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
25.04.2001 Patentblatt 2001/17

(73) Patentinhaber: **Linde Aktiengesellschaft**
65189 Wiesbaden (DE)

(72) Erfinder: **Pompl, Gerhard, Dipl.-Ing.**
92339 Beilgries (DE)

(74) Vertreter: **Imhof, Dietmar**
Linde AG
Zentrale Patentabteilung
Dr.-Carl-von-Linde-Strasse 6-14
82049 Höllriegelskreuth (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 410 832 EP-A- 0 469 780
EP-A- 0 795 349 US-A- 4 006 001
US-A- 5 761 927 US-A- 5 775 129

EP 1 094 286 B1

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).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Patentanspruchs 1.

[0002] Die Grundlagen der Tieftemperaturzerlegung von Luft im allgemeinen sowie der Aufbau von Rektifiziersystem zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung mit zwei oder mehr Säulen im speziellen sind in der Monographie "Tieftemperaturtechnik" von Hausen/Linde (2. Auflage, 1985) oder aus einem Aufsatz von Latimer in Chemical Engineering Progress (Vol. 63, No.2, 1967, Seite 35) bekannt. Die Drucksäule und Niederdrucksäule eines Zweisäulensystems stehen in Regelfall über ein Kondensator-Verdampfer-System (Hauptkondensator) in Wärmeaustauschbeziehung, in dem Kopfgas der Drucksäule gegen verdampfende Sumpfflüssigkeit der Mitteldrucksäule verflüssigt wird.

[0003] Das Rektifiziersystem der Erfindung kann als klassisches Zweisäulensystem ausgebildet sein, aber auch als Drei- oder Mehrsäulensystem. Es kann zusätzlich zu den Kolonnen zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung weitere Vorrichtungen zur Gewinnung anderer Luftkomponenten, insbesondere von Edelgasen aufweisen, beispielsweise eine Argongewinnung.

[0004] Ein als Kondensator-Verdampfer ausgebildeter Wärmetauscher weist Verdampfungs- und Verflüssigungspassagen auf. In den Verdampfungspassagen wird eine Flüssigkeit verdampft. Sie stehen in Wärmeaustauschkontakt mit den Verflüssigungspassagen, in denen eine gasförmige Fraktion in indirektem Wärmeaustausch mit der verdampfenden Flüssigkeit kondensiert. Einzelheiten über Verdampfungsvorgänge sind beispielsweise der Monographie "Verdampfung und ihre technischen Anwendungen" von Billet (1981) zu entnehmen. Ein Kondensator-Verdampfer kann aus einem oder mehreren Wärmetauscherblöcken aufgebaut sein. Ein Kondensator-Verdampfer-System weist einen oder mehrere Kondensator-Verdampfer auf.

[0005] Jahrzehntelang wurden in der Tieftemperaturluftzerlegung praktisch ausschließlich Umlaufverdampfer als Kondensator-Verdampfer eingesetzt. Bei diesem Typ ist ein Wärmetauscherblock in einem Bad der zu verdampfenden Flüssigkeit angeordnet. Die Verdampfungspassagen sind oben und unten offen. Flüssigkeit aus dem Bad wird von dem bei der Verdampfung entstehenden Gas nach oben mitgerissen (Thermosiphon-Effekt) und fließt in das Flüssigkeitsbad zurück. Hierdurch ist ein natürlicher Flüssigkeitsumlauf allein durch den Verdampfungsvorgang und ohne Zufuhr mechanischer Energie gegeben.

[0006] Seit einiger Zeit werden auch Fallfilmverdampfer als Kondensator-Verdampfer in Luftzerlegungsanlagen eingesetzt, wie es beispielsweise in EP 681153 A oder EP 410832 A dargestellt ist. Bei diesem Typ von Verdampfer tritt die zu verdampfende Flüssigkeit oben in die Verdampfungspassagen ein und strömt als relativ dünner Film an den Wänden, die Verdampfungs- und

Verflüssigungspassagen trennen, nach unten. Dieser Verdampfertyp weist einen besonders niedrigen Druckverlust in den Verdampfungspassagen auf und ist daher energetisch im allgemeinen günstiger als ein Umlaufverdampfer.

[0007] Allerdings muß bei der Verdampfung einer sauerstoffreichen Flüssigkeit eine totale Verdampfung verhindert werden, die ein Trockenlaufen der Verdampfungspassagen zur Folge hätte. Dazu wird in der Regel aus den Verdampfungspassagen austretende Flüssigkeit mittels einer Pumpe wieder an den Eintritt der Verdampfungspassagen zurückgeführt. Diese Maßnahme wirkt einerseits der energiesparenden Wirkung des Fallfilmverdampfers entgegen; zum anderen werden unerwünschte schwererflüchtige Bestandteile in der Flüssigkeit angereichert.

[0008] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art und eine entsprechende Vorrichtung anzugeben, die wirtschaftlich und betriebstechnisch besonders günstig zu betreiben sind und insbesondere einen besonders niedrigen Energieverbrauch aufweisen.

[0009] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Patentanspruchs 1 gelöst. Die in dem Fallfilmverdampfer (erster Abschnitt des Kondensator-Verdampfer-Systems) nicht verdampfte Flüssigkeit (zweite sauerstoffreiche Flüssigkeit) wird zwar wie bei der üblichen Fallfilmverdampfung einer Fördereinrichtung zugeführt, beispielsweise einer Pumpe; diese transportiert die Flüssigkeit jedoch nicht zurück zum Eintritt der Verdampfungspassagen desselben Fallfilmverdampfers, sondern auf einen zweiten Abschnitt des Kondensator-Verdampfer-Systems. Dadurch braucht der erste Abschnitt nur einen relativ geringen Teil, beispielsweise 30 bis 50 %, vorzugsweise 38 bis 42 %, der gesamten Verdampfungsleistung des Kondensator-Verdampfer-Systems zu übernehmen. Entsprechend groß ist der natürliche Flüssigkeitsanteil am Austritt der Verdampfungspassagen des Fallfilmverdampfers. Auf einen künstlichen Flüssigkeitsumlauf kann somit ganz oder weitgehend verzichtet werden. Die Fördereinrichtung läßt die zunächst nicht verdampfte Flüssigkeit weiter zu einem zweiten Abschnitt des Kondensator-Verdampfer-Systems strömen. Dieser ist ganz oder teilweise als Umlaufverdampfer ausgebildet. Dort stellt sich das Problem der Notwendigkeit eines künstlichen Flüssigkeitsumlaufs daher nicht oder nur in geringerem Umfang.

[0010] Im Rahmen der Erfindung hat sich herausgestellt, daß sich mit Hilfe der erfindungsgemäßen Maßnahmen die Pumpenmenge auf etwa 30 % reduzieren läßt. Der energetische Effekt der verringerten Pumpenleistung ist dabei nicht auf die Einsparung an Antriebsenergie beschränkt; der Vorteil beruht vielmehr zu einem größeren Teil aus dem verminderten Wärmeeintrag, der sich durch die geringere Fördermenge an zweiter sauerstoffreicher Flüssigkeit ergibt.

[0011] Das Sauerstoffprodukt wird bei dem erfin-

dungsgemäßen Verfahren vorzugsweise aus dem zweiten Abschnitt des Kondensator-Verdampfer-Systems abgezogen, entweder als Gas oder als Flüssigkeit. Im letzteren Fall kann gegebenenfalls neben einem Flusigsauerstoffprodukt ein gasförmiges Drucksauerstoffprodukt gewonnen werden, indem sauerstoffreiche Flüssigkeit in flüssigem Zustand auf einen erhöhten Druck gebracht und anschließend gegen Luft oder Stickstoff verdampft wird (sogenannte Innenverdichtung).

[0012] Der erste Abschnitt des Kondensator-Verdampfer-Systems der Erfindung kann innerhalb der Niederdrucksäule oder in einem separaten Behälter angeordnet sein.

[0013] Das erfindungsgemäße Verfahren und die entsprechende Vorrichtung können zu jeder Art von Stickstoff-Sauerstoff-Trennung eingesetzt werden, insbesondere unabhängig von den Produktreinheiten in den Köpfen und Sumpfen der Säulen.

[0014] Der Dampf, der in den Verdampfungspassagen des zweiten Abschnitts des Kondensator-Verdampfer-Systems erzeugt wird, wird vorzugsweise nicht ausschließlich oder hauptsächlich als gasförmiges Sauerstoffprodukt abgezogen, sondern mindestens zur Hälfte in die Niederdrucksäule eingeleitet und dort als aufsteigender Dampf eingesetzt. Falls das gesamte Sauerstoffprodukt flüssig gewonnen und/oder innenverdichtet wird, kann auch das gesamte im zweiten Abschnitt des Kondensator-Verdampfer-Systems erzeugte Gas in die Niederdrucksäule zurückgeführt werden.

[0015] Eine dritte sauerstoffreiche Flüssigkeit verbleibt im zweiten Abschnitt des Kondensator-Verdampfer-Systems als nicht verdampfter Teil der zweiten sauerstoffreichen Flüssigkeit. Sie sammelt sich vorzugsweise im Flüssigkeitsbad des oder eines Umlaufverdampfers. Sie wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren vorzugsweise mindestens teilweise in die Niederdrucksäule und/oder zu den Verdampfungspassagen des ersten Abschnitts des Kondensator-Verdampfer-Systems Flüssigkeit zurückgeleitet. Diese Rückleitung kann auf günstige Weise gemeinsam mit der oben erwähnten Rückführung von Dampf in die Niederdrucksäule durchgeführt werden, indem eine entsprechende Leitung auf Höhe des Flüssigkeitsspiegels des Bads angeordnet ist. Hiermit wird gleichzeitig der Flüssigkeitsstand im Umlaufverdampfer geregelt, ohne daß zusätzliche Stell- oder Regeleinrichtungen erforderlich wären.

[0016] Wenn der zweite Abschnitt teilweise als zweiter Fallfilmverdampfer ausgebildet ist, kann außerdem die ohnehin vorhandene Fördereinrichtung zwischen erstem und zweitem Abschnitt zusätzlich für die Erzeugung eines Flüssigkeitsumlaufs an dem zweiten Fallfilmverdampfer genutzt werden.

[0017] Die Verflüssigungspassagen des Kondensator-Verdampfer-Systems sind vorzugsweise so mit den beiden Säulen verbunden, wie es in Patentanspruch 4 beschrieben ist. Dadurch kann an diesen Stellen auf Pumpen verzichtet werden, und zwar auch dann, wenn

Drucksäule und Niederdrucksäule nebeneinander angeordnet sind. (In diesem Fall ist es günstig, wenn der erste Abschnitt des Kondensator-Verdampfer-Systems unterhalb des untersten Bodens der Niederdrucksäule und der zweite Abschnitt des Kondensator-Verdampfer-Systems oberhalb des obersten Bodens der Drucksäule angeordnet sind.)

[0018] Der als Fallfilmverdampfer ausgebildete erste Abschnitt wird dabei vorzugsweise so dimensioniert, daß in ihm diejenige Menge an stickstoffreicher Flüssigkeit durch Kondensation einer stickstoffreichen Gasfraktion aus der Drucksäule erzeugt wird, die als Rücklauf in der Niederdrucksäule benötigt wird (plus gegebenenfalls die als druckloses Flüssigprodukt abgezogene Menge). Dies stellt beispielsweise einen Anteil 30 bis 50 %, vorzugsweise 38 bis 42 % an der gesamten Wärmeübertragungsleistung des Kondensator-Verdampfer-Systems dar. Der Rest der Wärmeübertragung (50 bis 70 %, vorzugsweise 58 bis 62 %) wird im zweiten Abschnitt des Kondensator-Verdampfer-Systems durchgeführt, und zwar so, daß dort mindestens die als Rücklauf in der Drucksäule benötigte Flüssigkeitsmenge erzeugt wird.

[0019] Aus Gründen der räumlichen Aufteilung der Heizfläche kann es in manchen Fällen günstiger sein, in dem ersten Abschnitt einen größeren Anteil der stickstoffreichen Fraktion zu kondensieren als oben beschrieben, um entsprechend Heizfläche vom zweiten Abschnitt (in der Regel am Kopf der Drucksäule) zum ersten Abschnitt (in der Regel im Sumpf der Niederdrucksäule) zu verlagern. In diesem Fall wird ein Teil der ersten stickstoffreichen Flüssigkeit, die im ersten Abschnitt gebildet wird, als Rücklauf auf die Drucksäule aufgegeben wird. Hierfür ist gegebenenfalls der Einsatz einer Flüssigpumpe erforderlich.

[0020] Die stickstoffreiche Gasfraktion wird im allgemeinen durch Kopfstickstoff der Drucksäule gebildet.

[0021] Der erste Abschnitt des Kondensator-Verdampfer-Systems ist vorzugsweise ausschließlich als Fallfilmverdampfer ausgebildet. Mit Hilfe der oben geschilderten Dimensionierung kann er besonders günstig als einzelner, relativ kompakter Block realisiert werden, oder in Form von mehreren (zum Beispiel vier) besonders niedrigen Blöcken, die nebeneinander angeordnet werden. Eine Anordnung unmittelbar im Sumpf der Niederdrucksäule ist ebenfalls günstig für eine niedrige Bauhöhe der Anlage und ihrer Isolierung (Coldbox).

[0022] Der zweite Abschnitt des Kondensator-Verdampfer-Systems kann durch mindestens zwei verdampfungsseitig seriell verbundene Teilabschnitte gebildet werden, deren erster als Fallfilmverdampfer und deren zweiter als Umlaufverdampfer ausgebildet ist. Die Flüssigkeit, die den Verdampfungspassagen des als Fallfilmverdampfer realisierten Teilabschnitts entströmt, wird dabei zum Beispiel in das Flüssigkeitsbad des oder eines als Umlaufverdampfer verwirklichten Teilabschnitts eingeleitet. Die Fallfilmverdampfer-Umlaufverdampfer-Kombination kann beispielsweise mit durchge-

henden Verflüssigungspassagen ausgestattet sein, wie es in EP 795349 A im einzelnen beschrieben ist. In diesem Fall kann die Flüssigkeit aus dem Bad des Umlaufverdampfers in die Niederdrucksäule oder zum Austritt der Verdampfungspassagen des ersten Abschnitts des Kondensator-Verdampfer-Systems zurückgeführt und zur Erhöhung der Flüssigkeitsmenge in dem als Fallfilmverdampfer ausgebildeten Teilabschnitt des zweiten Abschnitts genutzt werden.

[0023] Die Erfindung betrifft außerdem eine Vorrichtung zur Tieftemperaturzerlegung von Luft gemäß Patentanspruch 9. Besonders vorteilhafte Ausgestaltungen der Vorrichtung sind in den Patentansprüchen 10 bis 13 beschrieben.

[0024] Die Erfindung sowie weitere Einzelheiten der Erfindung werden im folgenden anhand zweier in den Zeichnungen schematisch dargestellten Ausführungsbeispiele zur Gewinnung gasförmigen Drucksauerstoffs näher erläutert.

[0025] Gemäß **Figur 1** wird gasförmige Einsatzluft 1, die zuvor verdichtet, gereinigt und auf etwa Taupunkt abgekühlt wurde (nicht dargestellt), der Drucksäule 2 unmittelbar oberhalb des Sumpfs zugeleitet. Die Drucksäule 2 ist Teil eines Rektifiziersystems, das außerdem eine Niederdrucksäule 3 und einen Hauptkondensator in Form eines Kondensator-Verdampfer-Systems 101, 102, 103 aufweist. Die Luft wird in der Drucksäule 2 in Kopfstickstoff und in eine sauerstoffangereicherte Flüssigkeit zerlegt. Letztere wird bei dem speziellen Ausführungsbeispiel nicht wie sonst üblich am Sumpf, sondern einige theoretische beziehungsweise praktische Böden höher über Leitung 5 abgezogen. (Einzelheiten über diese Verfahrensweise, die zum Zurückhalten von schwererflüchtigen Bestandteilen dient, sind der älteren deutschen Patentanmeldung 19835474 beziehungsweise den zu dieser Anmeldung korrespondierenden Anmeldungen in weiteren Ländern zu entnehmen.) Die sauerstoffangereicherte Flüssigkeit 5 wird über eine nicht dargestellte Leitung an einer Zwischenstelle in die Niederdrucksäule 3 eingedrosselt.

[0026] In der Niederdrucksäule 3 werden im oberen Bereich ein oder mehrere Stickstoffprodukte abgezogen (nicht dargestellt). Unterhalb des untersten Rektifizierabschnitts wird Sauerstoff in der für das Produkt benötigten Reinheit gewonnen. Dieser fließt als erste sauerstoffreiche Flüssigkeit vom untersten Boden beziehungsweise Packungsabschnitt der Niederdrucksäule 3 ab und wird in einer Sammeleinrichtung 7 gesammelt. Die erste sauerstoffreiche Flüssigkeit strömt weiter zum oberen Ende des ersten Abschnitts 101 des Kondensator-Verdampfer-Systems und wird in dessen Verdampfungspassagen eingeleitet. Der erste Abschnitt 101 ist als Fallfilmverdampfer ausgebildet. Dort verdampfen etwa 28 bis 30 % der ersten sauerstoffreichen Flüssigkeit 7 in indirektem Wärmeaustausch mit einem ersten Teil 8 der stickstoffreichen Gasfraktion 4 vom Kopf der Drucksäule 2. Dabei kondensiert das stickstoffreiche Gas 8 zu einer ersten stickstoffreichen Flüssigkeit 9.

Diese wird in einem Drosselventil 10 entspannt und vollständig als Rücklauf auf den Kopf der Niederdrucksäule 3 aufgegeben. Da bei dem Beispiel kein flüssiges Stickstoffprodukt erzeugt wird, ist der Fallfilmverdampfer 101 so dimensioniert, daß in ihm genau diejenige Menge an stickstoffreichem Gas 8 kondensiert, die als Rücklauf-Flüssigkeit für die Niederdrucksäule benötigt wird.

[0027] Der Dampf 11, der im ersten Abschnitt 101 des Kondensator-Verdampfer-Systems erzeugt wird, strömt zum untersten Rektifizierabschnitt der Niederdrucksäule zurück und nimmt an dem Gegenstrom-Stoffaustausch innerhalb dieser Säule teil. Der flüssig verbleibende Anteil 12 bildet eine zweite sauerstoffreiche Flüssigkeit. Diese wird über Leitung 13 abgezogen und mittels einer Pumpe 14 zu dem zweiten Abschnitt des Kondensator-Verdampfers geführt, der durch eine Kombination aus einem weiteren Fallfilmverdampfer 102 und einem Umlaufverdampfer 103 gebildet wird, wie sie in EP 795349 A im einzelnen beschrieben ist.

[0028] Die zweite sauerstoffreiche Flüssigkeit strömt in den Verdampfungspassagen des weiteren Fallfilmverdampfers 102 nach unten und verdampft dort zu etwa 40 %. Der entstandene Dampf 15 wird vollständig über Leitung 16 in die Niederdrucksäule 3 zurückgeleitet, da in dem Beispiel kein Sauerstoff als gasförmiges Produkt direkt aus dem Rektifiziersystem abgeführt wird. Die Leitung 16 dient gleichzeitig zum Konstanthalten des Flüssigkeitsspiegels im Flüssigkeitsbad 18, indem überschüssige Flüssigkeit gemeinsam mit dem im zweiten Abschnitt 102, 103 erzeugten Dampf zur Niederdrucksäule 3 geführt wird. (Diese Funktion wird anhand der Detailzeichnung von Figur 2 unten näher erläutert.) Die verbleibende Flüssigkeit 17 aus dem Teilabschnitt 102 fließt in das Flüssigkeitsbad 18 des Umlaufverdampfers 103 und bildet zusammen mit der im Umlaufverdampfer umgeworfenen Flüssigkeit 19 eine dritte sauerstoffreiche Flüssigkeit. Diese wird als Sauerstoffprodukt gewonnen, indem sie zum Teil über Leitung 20 abgezogen, mittels einer Pumpe 21 innenverdichtet, auf die bekannte Weise unter erhöhtem Druck verdampft und schließlich als gasförmiges Druckprodukt herausgeführt wird. Falls als Wärmeträger für die Verdampfung des Produktsauerstoffs ein Teil der Einsatzluft eingesetzt wird, kann der dabei verflüssigte Luftstrom 24 an einer Zwischenstelle in die Drucksäule 2 eingeführt werden. Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, einen auf über Drucksäulendruck gebrachten Stickstoffstrom gegen den verdampfenden Produktsauerstoff zu kondensieren (Stickstoffkreislauf, nicht dargestellt).

[0029] Die Verflüssigungspassagen des weiteren Fallfilmverdampfers 102 und des Umlaufverdampfers 103 sind durchgehend ausgeführt. Sie werden von einem zweiten Teil 22 der stickstoffreichen Gasfraktion 4 aus der Drucksäule 2 beaufschlagt. Der Stickstoff strömt zunächst durch den Fallfilmverdampfer 102 und anschließend durch den Umlaufverdampfer 103 und kondensiert mindestens teilweise, vorzugsweise prak-

tisch vollständig. Die dabei entstandene zweite stickstoffreiche Flüssigkeit 23 wird vollständig als Rücklauf auf die Drucksäule 2 aufgegeben.

[0030] Figur 2 zeigt im Detail die Verbindung zwischen der Leitung 16 und dem Außenraum um die beiden Kondensator-Verdampfer 102, 103, die den zweiten Abschnitt des Kondensator-Verdampfer-Systems bilden. Die Dimensionen der Leitung werden im wesentlichen nach der zu transportierenden Gasmenge ausgelegt. Sie wird so angeordnet, daß Flüssigkeit aus dem Flüssigkeitsbad des Umlaufverdampfers 103 überlaufen und als Film 26 an der Unterseite der Leitung 16 in die Niederdrucksäule 3 beziehungsweise in den Flüssigkeitssumpf unterhalb des ersten Fallfilmverdampfers 101 zurückfließen kann. Hierdurch wird der Flüssigkeitsspiegel des Flüssigkeitsbads des Umlaufverdampfers 103 ohne spezielle Regelmäßigkeiten auf konstanter Höhe gehalten.

[0031] Figur 3 unterscheidet sich von Figur 1 durch eine zusätzliche Leitung 301, über die ein Teil der ersten stickstoffreichen Flüssigkeit 9 als Rücklauf auf die Drucksäule 2 aufgegeben werden kann. Bei der dargestellten Anordnung von Säulen und Kondensatoren ist eine Flüssigpumpe 302 zur Überwindung der statischen Höhe zwischen erstem Abschnitt 101 des Kondensator-Verdampfer-Systems und oberem Bereich der Drucksäule 2 notwendig. Mit Hilfe dieser Überleitung von Flüssigkeit in die Drucksäule kann bei der Variante von Figur 3 gegenüber Figur 1 mehr Heizfläche in den ersten Abschnitt 101 verlegt werden, der hier als Sumpfverdampfer der Niederdrucksäule 3 ausgebildet ist. Entsprechend weniger Heizfläche (und damit weniger Volumen) wird für den zweiten Abschnitt 102, 103 benötigt, in dem Beispiel am Kopf der Drucksäule 2. Hierdurch kann die räumliche Aufteilung des Kondensator-Verdampfer-Systems optimiert werden. Der Vorteil dieser Optimierung ist in vielen Fällen höher als der Aufwand für die zusätzliche Leitung 301 und die Flüssigpumpe 302.

[0032] In einem extremen Beispiel (in der Zeichnung nicht dargestellt), kann die gesamte Heizfläche des Teilabschnitts 102 in den ersten Abschnitt 101 integriert werden, so daß der zweite Abschnitt des Kondensator-Verdampfer-Systems nur noch aus einem Umlaufverdampfer 103 besteht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft, bei dem verdichtete und vorgereinigte Einsatzluft (1) in ein Rektifiziersystem zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung eingeleitet wird, das
 - eine Drucksäule (2),
 - eine Niederdrucksäule (3) und
 - ein Kondensator-Verdampfer-System (101, 102, 103) zur Beheizung der Niederdrucksäule (3)

aufweist, wobei

- das Kondensator-Verdampfer-System einen ersten Abschnitt (101) aufweist, der als Fallfilmverdampfer ausgebildet ist,
- eine erste sauerstoffreiche Flüssigkeit (6) aus der Niederdrucksäule (3) in die Verdampfungspassagen des Fallfilmverdampfers (101) eingeleitet und dort teilweise verdampft wird, wobei ein sauerstoffreicher Dampf (11) und eine zweite sauerstoffreiche Flüssigkeit (12) gebildet werden, und wobei
- der sauerstoffreiche Dampf (11) mindestens zum Teil in die Niederdrucksäule (3) zurückgeleitet wird,

dadurch gekennzeichnet, daß das Kondensator-Verdampfer-System einen zweiten Abschnitt (102, 103) aufweist, der mindestens teilweise als Umlaufverdampfer (103) ausgebildet ist und daß die zweite sauerstoffreiche Flüssigkeit (12, 13) mindestens teilweise mittels einer Fördereinrichtung (14) zu den Verdampfungspassagen des zweiten Abschnitts (102, 103) des Kondensator-Verdampfer-Systems geleitet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der in den Verdampfungspassagen des zweiten Abschnitts des Kondensator-Verdampfer-Systems erzeugte Dampf mindestens zur Hälfte in die Niederdrucksäule (3) eingeleitet (16) wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** eine dritte sauerstoffreiche Flüssigkeit (18), die aus dem im zweiten Abschnitt (102, 103) des Kondensator-Verdampfer-Systems nicht verdampften Teil der zweiten sauerstoffreichen Flüssigkeit (12, 13) gebildet wird, mindestens teilweise in die Niederdrucksäule (3) und/oder zu den Verdampfungspassagen des ersten Abschnitts (101) des Kondensator-Verdampfer-Systems zurückgeleitet (16) wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß**

- im oberen Bereich der Drucksäule (2) eine stickstoffreiche Gasfraktion (4) erzeugt wird,
- ein erster Teil (8) der stickstoffreichen Gasfraktion (4) in die Verflüssigungspassagen des ersten Abschnitts (101) des Kondensator-Verdampfer-Systems eingeleitet und dort mindestens teilweise kondensiert wird, wobei eine erste stickstoffreiche Flüssigkeit (9) gebildet wird,
- ein zweiter Teil (22) der stickstoffreichen Gasfraktion (4) in die Verflüssigungspassagen des zweiten Abschnitts (102, 103) des Kondensator-Verdampfer-Systems eingeleitet und dort mindestens teilweise kondensiert wird, wobei

- eine zweite stickstoffreiche Flüssigkeit (23) gebildet wird,
- die erste stickstoffreiche Flüssigkeit (9) mindestens teilweise entspannt (10) und als Rücklauf auf die Niederdrucksäule (3) aufgegeben wird und
 - die zweite stickstoffreiche Flüssigkeit (23) mindestens teilweise als Rücklauf auf die Drucksäule (2) aufgegeben wird.
- 5
- 10
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein Teil der ersten stickstoffreichen Flüssigkeit (9) als Rücklauf auf die Drucksäule (2) aufgegeben (301, 302) wird.
- 15
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** Drucksäule (2) und Niederdrucksäule (3) nebeneinander angeordnet sind, wobei der erste Abschnitt (101) des Kondensator-Verdampfer-Systems unterhalb des untersten Bodens beziehungsweise des untersten Packungsabschnitts der Niederdrucksäule (3) und/oder der zweite Abschnitt des Kondensator-Verdampfer-Systems oberhalb des obersten Bodens beziehungsweise des obersten Packungsabschnitts der Drucksäule (2) angeordnet sind.
- 20
- 25
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** der erste Abschnitt (101) des Kondensator-Verdampfer-Systems ausschließlich als Fallfilmverdampfer ausgebildet ist
- 30
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** der zweite Abschnitt des Kondensator-Verdampfer-Systems durch mindestens zwei verdampfungsseitig seriell verbundene Teilabschnitte gebildet wird, von denen mindestens einer als Fallfilmverdampfer (102) und mindestens einer als Umlaufverdampfer (103) ausgebildet ist.
- 35
- 40
9. Vorrichtung zur Tieftemperaturzerlegung von Luft mit einem Rektifiziersystem zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung, das
- eine Drucksäule (2),
 - eine Niederdrucksäule (3) und
 - ein Kondensator-Verdampfer-System (101, 102, 103) zur Beheizung der Niederdrucksäule (3)
- 45
- 50
- aufweist,
- wobei das Kondensator-Verdampfer-System einen ersten Abschnitt (101) aufweist, der als Fallfilmverdampfer ausgebildet ist,
- 55
- und mit
- einer Einsatzluftleitung (1) zur Einleitung verdichteter und vorgereinigter Einsatzluft (1) in die Drucksäule (2),
 - Mitteln zur Zuführung einer ersten sauerstoffreichen Flüssigkeit (6) aus der Niederdrucksäule (3) in die Verdampfungspassagen des Fallfilmverdampfers (101) und
 - Mitteln zur Rückführung von sauerstoffreichem Dampf (11) aus den Verdampfungspassagen des Fallfilmverdampfers (101) in die Niederdrucksäule (3),
- dadurch gekennzeichnet, daß** das Kondensator-Verdampfer-System einen zweiten Abschnitt (102, 103) aufweist, der mindestens teilweise als Umlaufverdampfer (103) ausgebildet ist und die Vorrichtung Mittel zur Einleitung einer zweiten sauerstoffreichen Flüssigkeit (12, 13) aus den Verdampfungspassagen des Fallfilmverdampfers (101) zu den Verdampfungspassagen des zweiten Abschnitts (102, 103) des Kondensator-Verdampfer-Systems aufweist, die eine Fördereinrichtung (14) umfassen.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** Drucksäule (2) und Niederdrucksäule (3) nebeneinander angeordnet sind, wobei der erste Abschnitt (101) des Kondensator-Verdampfer-Systems unterhalb des untersten Bodens beziehungsweise des untersten Packungsabschnitts der Niederdrucksäule (3) und/oder der zweite Abschnitt des Kondensator-Verdampfer-Systems oberhalb des obersten Bodens beziehungsweise des obersten Packungsabschnitts der Drucksäule (2) angeordnet sind.
11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** der erste Abschnitt (101) des Kondensator-Verdampfer-Systems ausschließlich als Fallfilmverdampfer ausgebildet ist
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** der zweite Abschnitt des Kondensator-Verdampfer-Systems durch mindestens zwei verdampfungsseitig seriell verbundene Teilabschnitte gebildet wird, deren erster als Fallfilmverdampfer (102) und deren zweiter als Umlaufverdampfer (103) ausgebildet ist.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Austritt (9) der Verflüssigungspassagen des ersten Abschnitts (101) des Kondensator-Verdampfer-Systems über eine Flüssigkeitsleitung (301) und gegebenenfalls über eine Flüssigpumpe (302) mit der Drucksäule (2) verbunden ist.

Claims

1. Process for the low-temperature fractionation of air, in which compressed and pre-purified feed air (1) is introduced into a rectification system for nitrogen/oxygen separation, which includes
 - a pressure column (2),
 - a low-pressure column (3), and
 - a condenser-evaporator system (101, 102, 103) for heating the low-pressure column (3),
 wherein
 - the condenser-evaporator system has a first section (101), which is designed as a falling-film evaporator,
 - a first oxygen-rich liquid (6) from the low-pressure column (3) is introduced into the evaporation passages of the falling-film evaporator (101), where it is partially evaporated, with an oxygen-rich vapour (11) and a second oxygen-rich liquid (12) being formed, and
 wherein
 - the oxygen-rich vapour (11) is at least partially passed back into the low-pressure column (3),
 characterized in that the condenser-evaporator system includes a second section (102, 103) which is at least partially designed as a forced-circulation evaporator (103), and in that the second oxygen-rich liquid (12, 13) is at least partially passed, by means of a delivery device (14) to the evaporation passages of the second section (102, 103) of the condenser-evaporator system.
2. Process according to Claim 1, **characterized in that** at least half of the vapour produced in the evaporation passages of the second section of the condenser-evaporator system is introduced (16) into the low-pressure column (3).
3. Process according to Claim 1 or 2, **characterized in that** a third oxygen-rich liquid (18), which is formed from that part of the second oxygen-rich liquid (12, 13) which has not evaporated in the second section (102, 103) of the condenser-evaporator system, is at least partially passed back (16) into the low-pressure column (3) and/or to the evaporation passages of the first section (101) of the condenser-evaporator system.
4. Process according to any of Claims 1 to 3, **characterized in that**
 - a nitrogen-rich gas fraction (4) is produced in the upper region of the pressure column (2),
 - a first part (8) of the nitrogen-rich gas fraction (4) is introduced into the liquefaction passages of the first section (101) of the condenser-evaporator system, where it is at least partially condensed, with a first nitrogen-rich liquid (9) being formed,
 - a second part (22) of the nitrogen-rich gas fraction (4) is introduced into the liquefaction passages of the second section (102, 103) of the condenser-evaporator system, where it is at least partially condensed, with a second nitrogen-rich liquid (23) being formed,
 - the first nitrogen-rich liquid (9) is at least partially expanded (10) and added as reflux to the low-pressure column (3) and,
 - the second nitrogen-rich liquid (23) is at least partially added as reflux to the pressure column (2).
5. Process according to Claim 4, **characterized in that** part of the first nitrogen-rich liquid (9) is added (301, 302) as reflux to the pressure column (2).
6. Process according to any of Claims 1 to 5, **characterized in that** pressure column (2) and low-pressure column (3) are arranged next to one another, with the first section (101) of the condenser-evaporator system being arranged beneath the bottom plate or the bottom packing section of the low-pressure column (3) and/or the second section of the condenser-evaporator system being arranged above the top plate or the top packing section of the pressure column (2).
7. Process according to any of Claims 1 to 6, **characterized in that** the first section (101) of the condenser-evaporator system is designed exclusively as a falling-film evaporator.
8. Process according to any of Claims 1 to 7, **characterized in that** the second section of the condenser-evaporator system is formed by at least two subsections which are connected in series on the evaporation side and at least one of which is designed as a falling-film evaporator (102) and at least one of which is designed as a forced-circulation evaporator (103).
9. Apparatus for the low-temperature fractionation of air having a rectification system for nitrogen/oxygen separation, which includes
 - a pressure column (2),
 - a low-pressure column (3), and
 - a condenser-evaporator system (101, 102, 103) for heating the low-pressure column (3),

wherein

- the condenser-evaporator system has a first section (101), which is designed as a falling-film evaporator,

and having

- a feed air line (1) for introducing compressed and pre-purified feed air (1) into the pressure column (2),
- means for feeding a first oxygen-rich liquid (6) out of the low-pressure column (3) into the evaporation passages of the falling-film evaporator (101), and
- means for returning oxygen-rich vapour (11) from the evaporation passages of the falling-film evaporator (101) into the low-pressure column (3),

characterized in that the condenser-evaporator system includes a second section (102, 103) which is at least partially designed as a forced-circulation evaporator (103), and the apparatus includes means for introducing a second oxygen-rich liquid (12, 13) from the evaporation passages of the falling-film evaporator (101) to the evaporation passages of the second section (102, 103) of the condenser-evaporator system, which comprise a delivery device (14).

10. Apparatus according to Claim 9, characterized in that pressure column (2) and low-pressure column (3) are arranged next to one another, with the first section (101) of the condenser-evaporator system being arranged beneath the bottom plate or the bottom packing section of the low-pressure column (3) and/or the second section of the condenser-evaporator system being arranged above the top plate or the top packing section of the pressure column (2).

11. Apparatus according to Claim 9 or 10, characterized in that the first section (101) of the condenser-evaporator system is designed exclusively as a falling-film evaporator.

12. Apparatus according to any of Claims 9 to 11, characterized in that the second section of the condenser-evaporator system is formed by at least two subsections which are connected in series on the evaporation side and the first of which is designed as a falling-film evaporator (102) and the second of which is designed as a forced-circulation evaporator (103).

13. Apparatus according to any of Claims 9 to 11, characterized in that the outlet (9) of the liquefaction

passages of the first section (101) of the condenser-evaporator system is connected, via a liquid line (301) and if appropriate via a liquid pump (302), to the pressure column (2).

Revendications

1. Procédé cryogénique de séparation de l'air, dans lequel de l'air d'alimentation (1) comprimé et pré-épuré est introduit dans un système de rectification pour séparer l'oxygène de l'azote, ce système présentant :

une colonne (2) sous pression,
une colonne (3) à basse pression et
un système de condenseur-évaporateur (101, 102, 103) qui chauffe la colonne (3) à basse pression,
le système de condenseur-évaporateur présentant une première partie (101) qui est configurée comme évaporateur à film tombant, un premier liquide (6) riche en oxygène qui provient de la colonne (3) à basse pression étant introduit dans les passages d'évaporation de l'évaporateur à film tombant (101) et y étant partiellement évaporé, une vapeur (11) riche en oxygène et un deuxième liquide (12) riche en oxygène étant formés, et
au moins une partie de la vapeur (11) riche en oxygène étant renvoyée dans la colonne (3) à basse pression,

caractérisé en ce que le système de condenseur-évaporateur présente une deuxième partie (102, 103) dont au moins une partie est configurée comme évaporateur (103) à recirculation et **en ce qu'**au moins une partie du deuxième liquide (12, 13) riche en oxygène est amenée dans les passages d'évaporation de la deuxième partie (102, 103) du système de condenseur-évaporateur au moyen d'un dispositif de transport (14).

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**au moins la moitié de la vapeur créée dans les passages d'évaporation de la deuxième partie du système de condenseur-évaporateur est introduite (16) dans la colonne (3) à basse pression.

3. Procédé selon les revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'**au moins une partie d'un troisième liquide (18) riche en oxygène, qui est formé de la partie du deuxième liquide (12, 13) riche en oxygène qui n'est pas évaporée dans la deuxième partie (102, 103) du système de condenseur-évaporateur, est renvoyée (16) dans la colonne (3) à basse pression et/ou dans les passages d'évaporation de la première partie (101) du système de condenseur-

évaporateur.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** :

une fraction (4) de gaz riche en azote est créée dans la partie supérieure de la colonne (2) sous pression,
une première partie (8) de la fraction (4) de gaz riche en azote est introduite dans les passages de condensation de la première partie (101) du système de condenseur-évaporateur et au moins une partie y est condensée pour former un premier liquide (9) riche en azote,
une deuxième partie (22) de la fraction (4) de gaz riche en azote est introduite dans les passages de condensation de la deuxième partie (102, 103) du système de condenseur-évaporateur et au moins une partie y est condensée pour former un deuxième liquide (23) riche en azote,
le premier liquide (9) riche en azote est détendu (10) au moins partiellement et est délivré comme renvoi dans la colonne (3) à basse pression et
au moins une partie du deuxième liquide (23) riche en azote est délivrée comme renvoi dans la colonne (2) sous pression.

5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce qu'une** partie du premier liquide (9) riche en azote est délivrée (301, 302) comme renvoi dans la colonne (2) sous pression.

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** la colonne (2) sous pression et la colonne (3) à basse pression sont disposées l'une à côté de l'autre, la première partie (101) du système de condenseur-évaporateur étant disposée en dessous du fond inférieur ou de la partie inférieure de la garniture de la colonne (3) à basse pression et/ou la deuxième partie du système de condenseur-évaporateur étant disposée au-dessus du fond supérieur ou de la partie supérieure de la garniture de la colonne (2) sous pression.

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** la première partie (101) du système de condenseur-évaporateur est configurée exclusivement comme évaporateur à film tombant.

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** la deuxième partie du système de condenseur-évaporateur est formée d'au moins deux parties individuelles raccordées en série du côté évaporation et parmi lesquelles au moins une est configurée comme évaporateur (102) à film tombant et au moins une comme évaporateur (103) à

recirculation.

9. Dispositif cryogénique de séparation de l'air, doté d'un système de rectification pour séparer l'oxygène de l'azote, qui présente :

une colonne (2) sous pression,
une colonne (3) à basse pression et
un système de condenseur-évaporateur (101, 102, 103) qui chauffe la colonne (3) à basse pression,
le système de condenseur-évaporateur présentant une première partie (101) qui est configurée comme évaporateur à film tombant, ainsi que
un conduit (1) d'air d'alimentation qui introduit de l'air d'alimentation (1) comprimé et pré-épuré dans la colonne (2) sous pression,
des moyens pour introduire un premier liquide (6) riche en oxygène qui provient de la colonne (3) à basse pression dans les passages d'évaporation de l'évaporateur à film tombant (101) et
des moyens pour renvoyer dans la colonne (3) à basse pression de la vapeur (11) riche en oxygène qui provient des passages d'évaporation de l'évaporateur à film tombant (101),

caractérisé en ce que le système de condenseur-évaporateur présente une deuxième partie (102, 103) dont au moins une partie est configurée comme évaporateur (103) à recirculation et **en ce que** le dispositif présente des moyens pour introduire un deuxième liquide (12, 13) riche en oxygène qui provient des passages d'évaporation de l'évaporateur à film tombant (101) dans les passages d'évaporation de la deuxième partie (102, 103) du système de condenseur-évaporateur, qui comprennent un dispositif de transport (14).

10. Dispositif selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** la colonne (2) sous pression et la colonne (3) à basse pression sont disposées l'une à côté de l'autre, la première partie (101) du système de condenseur-évaporateur étant disposée en dessous du fond inférieur ou de la partie inférieure de la garniture de la colonne (3) à basse pression et/ou la deuxième partie du système de condenseur-évaporateur étant disposée au-dessus du fond supérieur ou de la partie supérieure de la garniture de la colonne (2) sous pression.

11. Dispositif selon les revendications 9 ou 10, **caractérisé en ce que** la première partie (101) du système de condenseur-évaporateur est configurée exclusivement comme évaporateur à film tombant.

12. Dispositif selon l'une des revendications 9 à 11, **ca-**

ractérisé en ce que la deuxième partie du système de condenseur-évaporateur est formée d'au moins deux parties individuelles raccordées en série du côté évaporation et parmi lesquelles au moins une est configurée comme évaporateur (102) à film tombant et au moins une comme évaporateur (103) à recirculation. 5

13. Dispositif selon l'une des revendications 9 à 11, **caractérisé en ce que** la sortie (9) des passages de condensation de la première partie (101) du système de condenseur-évaporateur est reliée à la colonne (2) sous pression par un conduit (301) de liquide et éventuellement par une pompe (302) à liquide. 10 15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

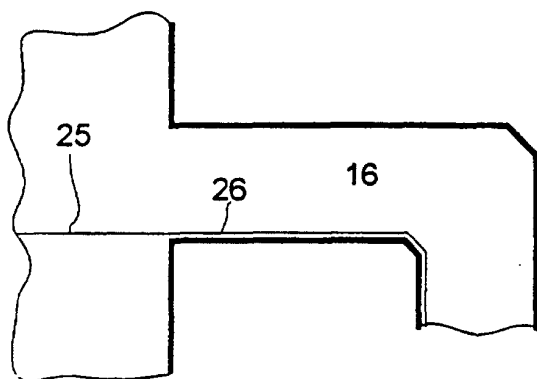
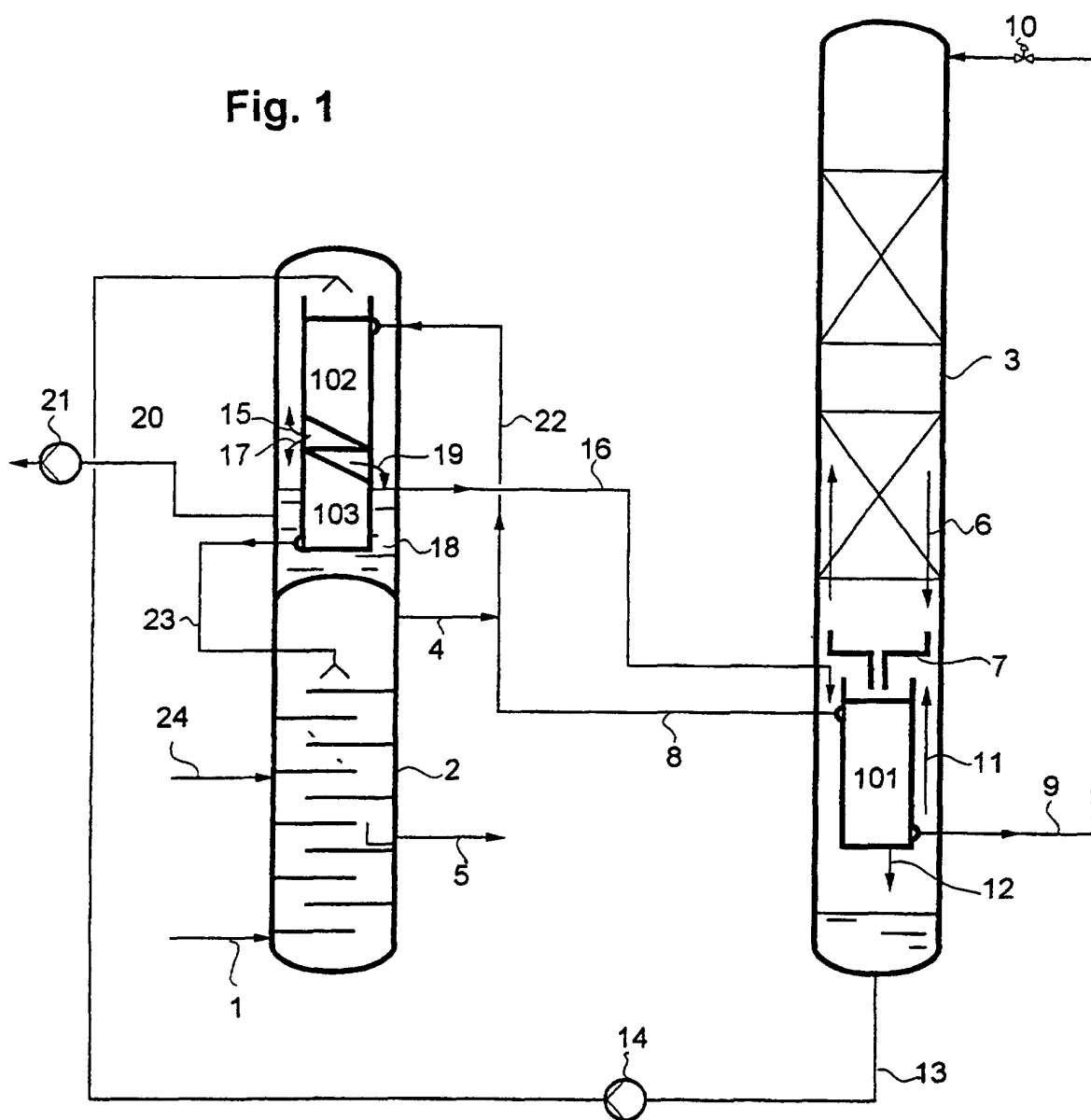


Fig. 2

Fig. 3

