

(19)



(11)

EP 2 758 734 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
18.07.2018 Patentblatt 2018/29

(51) Int Cl.:
F25J 3/04 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12762536.6**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2012/003944

(22) Anmeldetag: **20.09.2012**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2013/041229 (28.03.2013 Gazette 2013/13)

(54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR TIEFTEMPERATURZERLEGUNG VON LUFT

METHOD AND DEVICE FOR CRYOGENIC DECOMPOSITION OF AIR

PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DESTINÉS À LA DÉCOMPOSITION À BASSE TEMPÉRATURE D'AIR

(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

(30) Priorität: **20.09.2011 DE 102011113671**
20.09.2011 DE 102011113668
25.10.2011 EP 11008534
31.05.2012 EP 12004193

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
30.07.2014 Patentblatt 2014/31

(73) Patentinhaber: **Linde Aktiengesellschaft**
80331 München (DE)

(72) Erfinder:
• **DEMSKI, Georg**
86163 Augsburg (DE)

- **ALEKSEEV, Alexander**
82515 Wolfratshausen (DE)
- **RATHBONE, Thomas**
Kirkcaldy KY1 3DD (GB)
- **GOLOUBEV, Dimitri**
80804 München (DE)
- **YAYLI, Ayhan**
80992 München (DE)

(74) Vertreter: **Imhof, Dietmar**
Linde AG
Technology & Innovation
Corporate Intellectual Property
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14
82049 Pullach (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 1 227 288 EP-A1- 1 413 840
DE-A1- 10 009 977 GB-A- 2 284 880
US-A- 5 669 237 US-A1- 2008 115 531

EP 2 758 734 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

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Das Verfahren wird in einem Destilliersäulen-System zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung durchgeführt, welches eine erste Hochdrucksäule und eine Niederdrucksäule aufweist sowie drei Kondensator-Verdampfer, nämlich einen Hochdrucksäulen-Kopfcondensator, einen Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer und einen Nebenkondensator. Die Erfindung bezieht sich insbesondere auf ein Niederdruckverfahren.

[0002] Unter "Niederdruckverfahren" wird hier ein Prozess verstanden, bei dem der Betriebsdruck am Kopf der Niederdrucksäule weniger als 2,0 bar, insbesondere weniger als 1,8 bar, insbesondere weniger als 1,5 bar beträgt.

[0003] Als "Kondensator-Verdampfer" wird ein Wärmetauscher bezeichnet, in dem ein erster kondensierender Fluidstrom in indirekten Wärmeaustausch mit einem zweiten verdampfenden Fluidstrom tritt. Jeder Kondensator-Verdampfer weist einen Verflüssigungsraum und einen Verdampfungsraum auf, die aus Verflüssigungspassagen beziehungsweise Verdampfungspassagen bestehen. In dem Verflüssigungsraum wird die Kondensation (Verflüssigung) eines ersten Fluidstroms durchgeführt, in dem Verdampfungsraum die Verdampfung eines zweiten Fluidstroms. Verdampfungs- und Verflüssigungsraum werden durch Gruppen von Passagen gebildet, die untereinander in Wärmeaustauschbeziehung stehen.

[0004] Ein Kondensator-Verdampfer kann beispielsweise als Fallfilm- oder Badverdampfer ausgebildet sein. Bei einem "Fallfilmverdampfer" strömt das zu verdampfende Fluid von oben nach unten durch den Verdampfungsraum und wird dabei teilweise verdampft. Bei einem "Badverdampfer" (gelegentlich auch "Umlaufverdampfer" oder "Thermosiphon-Verdampfer" genannt) steht der Wärmetauscherblock in einem Flüssigkeitsbad des zu verdampfenden Fluids. Dieses strömt mittels des Thermosiphon-Effekts von unten nach oben durch die Verdampfungspassagen und tritt oben als Zwei-Phasen-Gemisch wieder aus. Die verbleibende Flüssigkeit strömt außerhalb des Wärmetauscherblocks in das Flüssigkeitsbad zurück. (Bei einem Badverdampfer kann der Verdampfungsraum sowohl die Verdampfungspassagen als auch den Außenraum um den Wärmetauscherblock umfassen.)

[0005] Die Kondensator-Verdampfer für die Niederdrucksäule (der Hochdrucksäulen-Kopfcondensator; falls er als Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer ausgebildet ist, und der Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer) können im Inneren der Niederdrucksäule angeordnet sein oder einem oder mehreren separaten Behältern. Der Hochdrucksäulen-Kopfcondensator kann auch am Kopf der ersten Hochdrucksäule angeordnet sein.

[0006] Unter "Stoffaustauschelementen" werden hier alle Kolonneneinbauten verstanden, die den für die De-

stillation (Rektifikation) entscheidenden intensiven Stoffaustausch zwischen aufsteigendem Dampf und herabrieselnder Flüssigkeit bewirken. Der Begriff umfasst insbesondere konventionelle Stoffaustauschböden, geordnete Packung und Füllkörperschüttungen (ungeordnete Packung). Grundsätzlich können bei dem Verfahren und der Vorrichtung der Erfindung und bei den Ausführungsbeispielen konventionelle Stoffaustauschböden (wie beispielsweise Siebböden), Füllkörper (ungeordnete Packung) und/oder geordnete Packung in jeder der Säulen eingesetzt werden. Auch Kombinationen verschiedenartiger Elemente in einer Säule sind möglich. Wegen des geringen Druckverlusts werden geordnete Packungen bevorzugt. Diese verstärken die energiesparende Wirkung der Erfindung weiter.

[0007] Die Hochdrucksäule und die Niederdrucksäule bilden jeweils eine Trennsäule im verfahrenstechnischen Sinne. Sie sind regelmäßig in jeweils einem Behälter angeordnet. Alternativ können die Stoffaustauschelemente jeder Säule auf zwei oder mehrere Behälter verteilt angeordnet sein, die entsprechend verbunden sind.

[0008] Der Einsatz für den Nebenkondensator wird entweder durch einen Teil der Sumpfflüssigkeit der Niederdrucksäule gebildet, die aus dem Verdampfungsraum des Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfers austritt; diese Verfahrensführung wird regelmäßig gewählt, wenn der Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer als Badverdampfer ausgebildet ist. Alternativ wird - zum Beispiel beim Einsatz eines Fallfilmverdampfers - die Sumpfflüssigkeit der Niederdrucksäule, die von dem untersten Stoffaustauschelement abläuft, in den Verdampfungsraum des Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfers eingeführt, und der nicht verdampfte Anteil der Niederdrucksäulen-Sumpfflüssigkeit, der unten aus dem Niederdrucksäule austritt, wird mindestens teilweise dem Nebenkondensator zugeführt. In dem Nebenkondensator kann Luft oder eine stickstoffangereicherte Fraktion aus einer Hochdrucksäule als Heizmedium eingesetzt werden.

[0009] Bei einem klassischen Verfahren mit zwei Kondensator-Verdampfern für die Niederdrucksäule wird der Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer zusammen mit dem Nebenkondensator mit einem Luftstrom beheizt; dies ist ungünstig für die Trennleistung, weil ein großer Teil der Luft vorverflüssigt wird und deshalb nicht mehr an der Vortrennung in der Hochdrucksäule teilnimmt. Aus US 2008115531 A1 ist ein Nebenkondensator-Verfahren der eingangs genannten Art mit zwei Kondensator-Verdampfern für die Niederdrucksäule bekannt, bei dem ein solcher Luftstrom unter erhöhtem Druck nicht benötigt wird. Stattdessen wird Stickstoff aus der Hochdrucksäule in einem Kaltverdichter auf einen erhöhten Druck gebracht und als Heizmedium im Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer (und im Nebenkondensator) eingesetzt. Der Einsatz eines Kaltverdichters ist aufwendig und ist außerdem mit Wärmeeintrag auf niedrigem Temperaturniveau verbunden, der grundsätzlich energetisch ungünstig ist.

[0010] EP 1413840 A1 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Tieftemperaturzerlegung von Luft in einem Destilliersäulen-System zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung, das eine Mitteldrucksäule, eine Hochdrucksäule und eine Niederdrucksäule sowie zwei Kondensator-Verdampfer aufweist, die mit gepumpten flüssigen Sauerstoff aus der Niederdrucksäule gekühlt werden.

[0011] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein derartiges Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung so zu gestalten, dass ein relativ niedriger apparativer Aufwand betrieben wird und sie auch energetisch besonders günstig zu betreiben sind.

[0012] Diese Aufgabe wird dadurch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Insbesondere wird eine zweite Hochdrucksäule eingesetzt, deren Betriebsdruck höher ist als der Betriebsdruck der ersten Hochdrucksäule.

[0013] Bei dem Verfahren der Erfindung kann auf einen Kaltverdichter verzichtet werden und es wird auch keine Luft im Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer vorverflüssigt. Der Verflüssigungsraum des Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfers wird dabei unter etwa dem Druck des Kopfs der zweiten Hochdrucksäule betrieben; jedenfalls wird das Kopfgas der zweiten Hochdrucksäule vor der Einleitung in den Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer nicht verdichtet, sondern tritt vorzugsweise unter seinem natürlichen Druck in dessen Verflüssigungsraum ein.

[0014] Nun erscheint es auf den ersten Blick widersinnig zu sein, einen solchen Aufwand zu betreiben, der im Vergleich zum Einsatz eines Kaltverdichters sehr hoch zu sein scheint, nämlich eine zusätzliche Trennkolonne einzusetzen - die zweite Hochdrucksäule - und außerdem einen Teil der Luft auf höheren Druck zu verdichten. Im Rahmen der Erfindung hat sich jedoch herausgestellt, dass die Energiesparung überraschend hoch ist und sich tatsächlich ein erheblicher Vorteil ergibt, der den zusätzlichen Aufwand rechtfertigt.

[0015] Zusätzlich oder vorzugsweise alternativ kann Kälte durch eine Druckstickstoff-Turbine gewonnen werden, indem ein stickstoffangereicherter Strom aus einer Hochdrucksäule des Destilliersäulen-Systems zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung arbeitsleistend entspannt und der arbeitsleistend entspannte stickstoffangereicherte Strom in dem Hauptwärmetauscher angewärmt wird. Der stickstoffangereicherte Strom kann aus der zweiten Hochdrucksäule stammen, wird aber vorzugsweise aus der ersten Hochdrucksäule entnommen; er wird insbesondere ohne Maßnahmen zur Druckänderung zu der entsprechenden Entspannungsmaschine geführt; deren Eintrittsdruck ist also gleich dem Betriebsdruck der entsprechenden Hochdrucksäule (minus Leitungsverlusten).

[0016] Dabei ist es günstig, wenn mindestens ein Teil des nach der arbeitsleistenden Entspannung angewärmten stickstoffangereicherten Stroms als Regeneriergas in einer Reinigungseinrichtung für Einsatzluft eingesetzt wird. Dies stellt nicht nur eine nutzbringende Verwen-

dung des arbeitsleistend entspannten Stroms dar, sondern entkoppelt auch den Niederdrucksäulendruck von dem Druckverlust, den das Regeneriergas in der Reinigungseinrichtung erfährt. Weil das Regeneriergas nicht wie sonst üblich aus der Niederdrucksäule entnommen wird, kann der Niederdrucksäulendruck entsprechend niedriger sein, zum Beispiel niedriger als 1,30 bar, und damit das gesamte Druckniveau abgesenkt werden. Dies erhöht die energetische Effizienz des Prozesses weiter.

[0017] Es ist ferner günstig, wenn bei dem Verfahren der Erfindung der Hochdrucksäulen-Kopfcondensator als Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer betrieben wird, indem dort eine flüssige Zwischenfraktion aus der Niederdrucksäule verdampft und mindestens ein Teil der in dem Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer verdampften Zwischenfraktion als aufsteigendes Gas in die Niederdrucksäule eingeleitet wird.

[0018] Dadurch wird die Rücklaufflüssigkeit für die erste Hochdrucksäule auf besonders vorteilhafte Weise erzeugt und gleichzeitig die Trennleistung der Niederdrucksäule verbessert.

[0019] In einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Niederdrucksäule durch mindestens zwei Abschnitte gebildet, wobei ein erster Abschnitt und einen zweiter Abschnitt jeweils in einem separaten Behälter, der Stoffaustauschelemente enthält, angeordnet sind und der zweite Abschnitt der Niederdrucksäule neben der ersten Hochdrucksäule angeordnet ist.

[0020] Bei dem Verfahren wird die Niederdrucksäule geteilt, das heißt ihre Stoffaustauschelemente werden auf mehr als einen Behälter verteilt, insbesondere auf genau zwei Behälter. Diese Behälter sind so durch Rohrleitungen verbunden, dass insgesamt die verfahrenstechnische Wirkung einer Niederdrucksäule realisiert wird. Hierdurch können die Säulen und Kondensator-Verdampfer so angeordnet werden, dass die Flüssigkeiten so weit wie möglich aufgrund natürlichen Gefälles in die entsprechenden Gefäße fließen.

[0021] Der zweite Abschnitt der Niederdrucksäule ist dabei neben der ersten Hochdrucksäule angeordnet. "Neben" bedeutet hier, dass die beiden Säulen im normalen Betrieb der Anlage so angeordnet sind, dass die Projektionen ihrer Querschnitte auf eine horizontale Ebene sind nicht überschneiden.

[0022] Zwar ist die Anwendung einer "geteilten Niederdrucksäule" aus DE 10009977 an sich bekannt, allerdings in einem sehr speziellen Zusammenhang mit abweichender Kondensatorschaltung, mit erhöhtem Betriebsdruck in der Niederdrucksäule und einer spezifischen Seitenkolonne. Die Anwendung einer solchen Säulenteilung auf ein Niederdruckverfahren gemäß US 2008115531 A1 daher bisher nicht erwogen.

[0023] In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung enthält der erste Abschnitt der Niederdrucksäule die Stoffaustauschelemente zwischen Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer und Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer und der zweite Abschnitt die

Stoffaustauschelemente der Niederdrucksäule, über denen das Kopfprodukt dieser Säule abgezogen wird. Grundsätzlich kann die Niederdrucksäule auch in drei oder mehr Abschnitte aufgeteilt werden. Vorzugsweise werden genau zwei Abschnitte eingesetzt.

[0024] Vorzugsweise ist auch der erste Abschnitt der Niederdrucksäule neben der ersten Hochdrucksäule angeordnet, insbesondere zwischen der ersten Hochdrucksäule und dem zweiten Abschnitt der Niederdrucksäule. Wenn die erste Hochdrucksäule einteilig und die Niederdrucksäule zweiteilig ausgebildet sind, sind in diesem Fall alle Abschnitte dieser Säulen nebeneinander angeordnet. Dadurch ergibt sich eine besonders geringe Gesamtbauhöhe. Dabei ist es günstig, wenn der erste Abschnitt der Niederdrucksäule darf nicht auf dem Boden steht, sondern etwas erhöht angebracht ist, damit der flüssige Stickstoff, der als Rücklauf in der Niederdrucksäule benötigt wird, nicht gepumpt werden muss. Alternativ kann der erste Abschnitt der Niederdrucksäule über der ersten Hochdrucksäule angeordnet sein.

[0025] Alternativ kann der erste Abschnitt der Niederdrucksäule über der ersten Hochdrucksäule oder einer weiteren Hochdrucksäule angeordnet sein.

[0026] Der Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer wird vorzugsweise oberhalb des beziehungsweise innerhalb des ersten Abschnitts der Niederdrucksäule angeordnet. Der erste Fall bezieht sich auf die Bauform, bei welcher der Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer in einem externen, von der Niederdrucksäule getrennten Behälter untergebracht ist, der zweite auf einen internen, in den Kopf des ersten Abschnitts der Niederdrucksäule eingebauten Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer.

[0027] Es ist ferner günstig, wenn der Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer unterhalb des beziehungsweise innerhalb des ersten Abschnitts der Niederdrucksäule angeordnet ist. Der erste Fall bezieht sich auf die Bauform, bei welcher der Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer in einem externen, von der Niederdrucksäule getrennten Behälter untergebracht ist, der zweite auf einen internen, in den Sumpf der Niederdrucksäule eingebauten Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer.

[0028] Insbesondere bei geteilter Niederdrucksäule ist es günstig, wenn der Nebenkondensator unterhalb des Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfers angeordnet ist.

[0029] In einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind die erste und die zweite Hochdrucksäule übereinander angeordnet und die erste Hochdrucksäule ist unterhalb der zweiten Hochdrucksäule angeordnet.

[0030] Bei dieser Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird keine der üblichen Anordnungen angewendet, also weder die Niederdrucksäule über einer Hochdrucksäule angeordnet, noch werden alle Säulen nebeneinander gestellt. In Abweichung von diesen klassischen Aufstellungsmethoden werden die beiden Hochdrucksäulen übereinander angeordnet, und zwar insbesondere die zweite Hochdrucksäule über der ersten. Die (insbesondere einteilig ausgebildete) Niederdrucksäule

ist vorzugsweise neben den Hochdrucksäulen angeordnet.

[0031] Letzteres ist besonders ungewöhnlich, da ja die erste Hochdrucksäule den Zwischenverdampfer der Niederdrucksäule beheizt, der weiter oben als der Sumpfverdampfer liegt, der vom Kopfgas der zweiten Hochdrucksäule beheizt wird, und damit zunächst die umgekehrte Anordnung natürlicher erscheint. Im Rahmen der Erfindung hat sich jedoch herausgestellt, dass bei der Übereinander-Anordnung der Hochdrucksäulen und insbesondere bei der zuletzt genannten Anordnung die Zahl der Pumpen zur Förderung von Flüssigkeiten von und zu den Kondensatoren besonders gering gehalten werden kann und sich außerdem durch die erfindungsgemäße Verfahrenführung sowohl eine besonders energiesparende Betriebsweise als auch ein apparativ relativ einfacher Aufbau ergeben.

[0032] Außerdem ergibt sich eine besonders platzsparende Anordnung, insbesondere hinsichtlich der für die Anlage benötigten Grundfläche. Die beiden Hochdrucksäulen können in einer gemeinsamen Coldbox untergebracht werden. Diese gemeinsame Coldbox kann kostengünstig in der Fabrik vorgefertigt werden. Anschließend wird sie als Ganzes liegend auf die Baustelle transportiert, dort aufgerichtet und mit den anderen Anlagen teilen verbunden. Die Niederdrucksäule wird vorzugsweise in einer zweiten, separaten Coldbox untergebracht, die in analoger Weise vorgefertigt und transportiert werden kann.

[0033] Unter einer Anordnung zweier Säulen "übereinander" wird hier verstanden, dass das sich obere Ende der unteren der beiden Säulen sich auf niedrigerer geodätischer Höhe befindet als das untere Ende der oberen der beiden Säulen und sich die Projektionen der beiden Säulen in eine horizontale Ebene überschneiden. Beispielsweise sind die beiden Säulen genau übereinander angeordnet, das heißt die Achsen der beiden Säulen verlaufen auf derselben vertikalen Geraden. Diese Definition gilt analog für ähnliche Begriffe wie "oberhalb" und "unterhalb".

[0034] Vorzugsweise ist der Nebenkondensator zwischen der ersten und der zweiten Hochdrucksäule angeordnet, insbesondere über der ersten Hochdrucksäule und unter der zweiten Hochdrucksäule.

[0035] Dies erscheint zunächst unlogisch, weil der Nebenkondensator funktionell mit keiner dieser Säulen verbunden ist. Insgesamt ergibt sich jedoch eine sehr kompakte Anordnung, bei der die beiden Hochdrucksäulen und der Nebenkondensator in einer gemeinsamen Coldbox untergebracht werden können. Diese gemeinsame Coldbox kann wie bereits oben erläutert kostengünstig in der Fabrik vorgefertigt werden, ohne das für den Nebenkondensator eine eigene Coldbox benötigt wird oder die in der Regel schon recht hohe Coldbox der Niederdrucksäule weiter erhöht werden muss. Außerdem wird bei dieser Anordnung wegen eines ausreichend großen hydrostatischen Drucks keine LOX-Produkt-Pumpe zur Förderung von flüssigem Sauerstoffprodukt in einen

Speichertank benötigt.

[0036] Vorzugsweise wird in dem Nebenkondensator Luft als Heizmedium eingesetzt, indem in dem Nebenkondensator ein dritter Einsatzluftstrom mindestens teilweise kondensiert wird, der insbesondere unter einem dritten Druck steht, der höher ist als der erste Druck. Beispielsweise ist der dritte Druck gleich dem zweiten Druck und der zweite und der dritte Einsatzluftstrom werden aus einem gemeinsamen Luftteilstrom abgezweigt, der vorher auf einen entsprechend erhöhten Druck gebracht worden ist.

[0037] Drücke werden hier als "gleich" bezeichnet, wenn der Druckunterschied zwischen den entsprechenden Stellen nicht größer als die natürlichen Leitungsverluste sind, die durch Druckverluste in Rohrleitungen, Wärmetauschern, Kühlern, Adsorbern etc. sind.

[0038] Im Rahmen der Erfindung ist es günstig, wenn der erste Einsatzluftstrom lediglich auf den ersten Druck (plus Leitungsverlusten) verdichtet und nur der zweite (gegebenenfalls gemeinsam mit dem dritten) Einsatzluftstrom auf den entsprechend höheren zweiten Druck (plus Leitungsverlusten) verdichtet beziehungsweise nachverdichtet wird. Dies wird besonders vorteilhaft durch die Merkmale des Patentanspruchs 14 bewerkstelligt.

[0039] Grundsätzlich können die Einsatzluftströme gemeinsam und dem niedrigeren Druckniveau einer gemeinsamen Luftreinigung zugeführt werden. In vielen Fällen ist es aber günstiger, zwei getrennte Reinigungsvorrichtungen vorzusehen, die unter den beiden unterschiedlichen Drücken betrieben werden, wie es an sich aus EP 342436 bekannt ist.

[0040] Es ist günstig, wenn auch der dritte Einsatzluftstrom durch mindestens einen Teil des abgekühlten zweiten Luftteilstroms gebildet wird. Zweiter und dritter Einsatzluftstrom werden also gemeinsam auf einen erhöhten Druck (beispielsweise den zweiten beziehungsweise dritten Druck plus Leitungsverlusten) gebracht und anschließend getrennt voneinander in die zweite Hochdrucksäule beziehungsweise den Nebenkondensator geleitet. Alternativ kann der gesamte zweite Luftteilstrom als zweiter Einsatzluftstrom durch den Nebenkondensator geführt, dort nur zu einem geringen Teil partiell kondensiert und anschließend als erster Einsatzluftstrom in die zweite Hochdrucksäule geleitet werden. Vorzugsweise ist der dritte Druck (im Verflüssigungsraum des Nebenkondensators) gleich dem zweiten Druck (beim Eintritt des zweiten Einsatzluftstroms in die zweite Hochdrucksäule).

[0041] Zusätzlich oder alternativ zu der oben erwähnten Druckstickstoff-Turbine kann bei dem Verfahren Verfahrenskälte für den Ausgleich von Austausch- und Isolierungsverlusten und gegebenenfalls für die Produktverflüssigung beispielsweise durch eine Einblaseturbine gewonnen werden, indem ein vierter Einsatzluftstrom arbeitsleistend entspannt und in die Niederdrucksäule eingelegt wird. Der vierte Einsatzluftstrom kann beispielsweise auf dasselbe Druckniveau wie der erste Einsatzluftstrom für die erste Hochdrucksäule verdichtet und

etwa unter dem ersten Druck der entsprechenden Entspannungsmaschine zugeleitet werden.

[0042] Vorzugsweise ist der Nebenkondensator als Badverdampfer ausgebildet. In einer speziellen Variante der Erfindung sind alle Kondensator-Verdampfer des Verfahrens als Badverdampfer ausgebildet. Dies ergibt - insbesondere bei übereinander angeordneten Hochdrucksäulen - einen besonders kostengünstigen Aufbau und eine besonders zuverlässige Betriebsweise.

[0043] In einer besonders günstigen Ausführungsvariante der Erfindung ist - insbesondere bei übereinander angeordneten Hochdrucksäulen - der Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer am Kopf der zweiten Hochdrucksäule angeordnet, das heißt der Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer sitzt über der zweiten Hochdrucksäule und die dort erzeugte Rücklaufflüssigkeit kann aufgrund des natürlichen Gefälles (also ohne Flüssigstickstoff-Pumpe) in den Kopf der zweiten Hochdrucksäule fließen. Vorzugsweise ist der Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer direkt über dem Kopf der zweiten Hochdrucksäule angeordnet wie ein klassischer Kopfkondensator. Dabei können die zweite Hochdrucksäule und der Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer in einem gemeinsamen Behälter untergebracht sein, wobei zwischen Verdampfungsraum des Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfers und Kopfbereich der zweiten Hochdrucksäule eine Trennwand angeordnet ist.

[0044] Weiter Energie gespart werden kann durch Einsatz eines oder mehrerer Fallfilmverdampfer. Insbesondere der Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer und/oder Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer können als Fallfilmverdampfer ausgestaltet sein. Der Nebenkondensator kann dagegen als Badverdampfer ausgestaltet werden oder alternativ ebenfalls als Fallfilmverdampfer.

[0045] Bei dem Verfahren der Erfindung kann zusätzlich eine dritte Hochdrucksäule eingesetzt werden. Sie wird vorzugsweise unter höherem Druck als die zweite Hochdrucksäule betrieben. Ihr Kopfgas kann dann als Heizmittel für den Nebenkondensator eingesetzt werden. Entsprechend geringer wird die Vorverflüssigung von Luft.

[0046] Die Erfindung betrifft außerdem eine Vorrichtung gemäß den Patentansprüchen 22 und 23. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann durch Vorrichtungsmerkmale ergänzt werden, die den Merkmalen der abhängigen Verfahrensansprüche entsprechen.

[0047] Die Erfindung sowie weitere Einzelheiten der Erfindung werden im Folgenden anhand von in den Zeichnungen schematisch dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Hierbei zeigen:

- Figur 1 ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung mit Druckstickstoff-Turbine und zwei Reinigungseinrichtungen unter verschiedenem Druckniveau,
- Figur 2 ein zweites Ausführungsbeispiel mit Einblaseturbine und einer gemeinsamen Reinigungseinrichtung,

- Figur 3 ein drittes Ausführungsbeispiel mit drei Hochdrucksäulen,
- Figur 4 ein Ausführungsbeispiel mit Anordnung des ersten Abschnitts der Niederdrucksäule über der zweiten Hochdrucksäule,
- Figur 5 ein Ausführungsbeispiel mit Anordnung des ersten Abschnitts der Niederdrucksäule über der ersten Hochdrucksäule,
- Figur 6 ein weiteres Ausführungsbeispiel mit Anordnung eines Nebenkondensators zwischen zwei Trennsäulen,
- Figur 7 ein erstes Ausführungsbeispiel für die Variante der Erfindung, bei der die Hochdrucksäulen übereinander angeordnet sind, mit Anordnung des Nebenkondensators zwischen den beiden Hochdrucksäulen,
- Figur 8 ein zweites Ausführungsbeispiel dieser Variante der Erfindung mit Anordnung des Nebenkondensators neben den Trennsäulen und
- Figur 9 ein drittes Ausführungsbeispiel dieser Variante der Erfindung mit Anordnung des Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfers am Kopf der zweiten Hochdrucksäule.

[0048] Atmosphärische Luft 1 wird in **Figur 1** von einem Hauptluftverdichter 3 mit Nachkühler 4 über ein Filter 2 angesaugt und dort auf einen ersten Gesamtluftdruck von 3,1 bar verdichtet. Der Hauptluftverdichter kann zwei oder mehr Stufen mit Zwischenkühlung aufweisen; er ist aus Redundanzgründen vorzugsweise zweisträngig ausgebildet (beides in der Zeichnung nicht dargestellt). Der Gesamtluftstrom 5 wird unter dem ersten Gesamtluftdruck und einer Temperatur von 295 K einem ersten Direktkontaktkühler 6 zugeführt und dort in direktem Wärmeaustausch mit Kühlwasser 7 aus einem Verdunstungskühler 8 weiter auf 283 K abgekühlt. Der abgekühlte Gesamtluftstrom 9 wird in einen ersten Luftteilstrom 10 und einen zweiten Luftteilstrom 11 aufgeteilt.

[0049] Der zweite Luftteilstrom 11 wird in einem Nachverdichter 12 mit Nachkühler 13 von dem ersten Gesamtluftdruck (minus Druckverlusten) auf einen zweiten Gesamtluftdruck von 4,9 bar verdichtet. Der Nachverdichter kann zwei oder mehr Stufen mit Zwischenkühlung aufweisen; er ist aus Redundanzgründen vorzugsweise zweisträngig ausgebildet (beides in der Zeichnung nicht dargestellt). Je ein Strang des Hauptluftverdichters und des Nachverdichters können als eine Maschine mit gemeinsamem Antrieb ausgebildet sein, insbesondere als Getriebeverdichter. Der zweite Luftteilstrom 14 wird anschließend in einem zweiten Direktkontaktkühler 15 von 295 K auf 290 K abgekühlt, und zwar in direktem Wärmeaustausch mit einem wärmeren Kühlwasserstrom 16.

[0050] Der erste Luftteilstrom wird in einer ersten Reinigungseinrichtung 18, die unter dem ersten Gesamtluftdruck betrieben wird, gereinigt und anschließend über Leitung 19 unter diesem Druck dem warmen Ende eines Hauptwärmetauschers zugeleitet, der in dem Ausführungsbeispiel durch zwei parallel geschaltete Blöcke 20,

21 gebildet wird. Die auf etwa Taupunkt abgekühlte Luft bildet einen "ersten Einsatzluftstrom" 22, der einer ersten Hochdrucksäule 23 zugeführt wird.

[0051] Die erste Hochdrucksäule 23 ist Teil eines Destilliersäulen-Systems zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung, das außerdem eine zweite Hochdrucksäule 24, eine Niederdrucksäule, bestehend aus zwei Abschnitten 25, 26, einen Hochdrucksäulen-Kopfcondensator, der in allen hier dargestellten Ausführungsbeispielen als Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer 27 ausgebildet ist, einen Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer 28 und einen Nebenkondensator 29 aufweist. Der Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer 27 und der Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer 28 sind als Fallfilmverdampfer ausgebildet, der Nebenkondensator 29 als Badverdampfer.

[0052] Der vorgekühlte zweite Luftteilstrom 17 wird in einer zweiten Reinigungseinrichtung 30, die unter dem zweiten Gesamtluftdruck betrieben wird, gereinigt. Aus dem gereinigten zweite Luftteilstrom kann über Leitung 32 ein kleiner Teil entnommen werden, der als Instrumentenluft oder für Zwecke außerhalb der Luftzerlegung eingesetzt wird. Der Rest strömt über Leitung 33 zum Hauptwärmetauscher 20 und wird dort abgekühlt. Der abgekühlte zweite Luftteilstrom 34 wird aufgeteilt in einen "zweiten Einsatzluftstrom" 35, der in die zweite Hochdrucksäule 24 eingeleitet wird, und in einen "dritten Einsatzluftstrom" 36, welcher dem Verflüssigungsraum des Nebenkondensators 29 zugeleitet wird.

[0053] Der mindestens teilweise, vorzugsweise im Wesentlichen vollständig kondensierte dritte Teilstrom 37 wird in einen Abscheider (Phasentrenner) 38 eingeleitet. Der flüssige Anteil 39 wird zu einem ersten Teil 40 der ersten Hochdrucksäule 23 zugeleitet. Zu einem zweiten Teil 41 wird er über einen Unterkühlungs-Gegenströmer 42 und Leitung 43 in die Niederdrucksäule 26 eingespeist.

[0054] Stickstoffreiches Kopfgas 44 der ersten Hochdrucksäule 23 wird zu einem ersten Teil in dem Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer 27 kondensiert. Dabei gewonnener flüssiger Stickstoff 46 wird zu einem ersten Teil 47 als Rücklauf auf den Kopf der ersten Hochdrucksäule 23 aufgegeben. Ein zweiter Teil 48 wird in dem Unterkühlungs-Gegenströmer 42 abgekühlt und über Leitung 49 als Rücklauf auf den Kopf der Niederdrucksäule 26 aufgegeben. Ein Teil 50 der unterkühlten Flüssigkeit kann bei Bedarf als Flüssigprodukt (LIN) gewonnen werden.

[0055] Ein zweiter Teil 51 des stickstoffreichen Kopfgases 44 der ersten Hochdrucksäule 23 wird in den Hauptwärmetauscher 20 eingeleitet. Mindestens ein Teil 52 davon wird nur auf eine Zwischentemperatur angewärmt und anschließend in einer generatorgebremsen Druckstickstoff-Turbine 53 von 2,7 bar auf 1,25 bar arbeitsleistend entspannt. Der Austrittsdruck der Turbine reicht gerade aus, um den arbeitsleistend entspannten Strom 54 durch den Hauptwärmetauscher 20 und über die Leitungen 55, 56, 57 als Regeneriergas durch die

erste und die zweite Reinigungseinrichtung 18, 30 zu drücken.

[0056] Ein weiterer Teil des Stroms 51 wird im Hauptwärmetauscher 20 bis auf Umgebungstemperatur angewärmt und als gasförmiges Druckstickstoffprodukt (PGAN) gewonnen.

[0057] Stickstoffreiches Kopfgas 58 der zweiten Hochdrucksäule 24 wird in dem Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer 28 kondensiert. Dabei gewonnener flüssiger Stickstoff 59 wird zu einem ersten Teil 60 als Rücklauf auf den Kopf der zweiten Hochdrucksäule 24 aufgegeben. Ein zweiter Teil 61 wird in dem Unterkühlungs-Gegenströmer 42 abgekühlt und über Leitung 62 als Rücklauf auf den Kopf der Niederdrucksäule 26 aufgegeben.

[0058] Die Sumpfflüssigkeiten 63, 64 der beiden Hochdrucksäulen 23, 24 werden zusammengeführt, über Leitung 65, den Unterkühlungs-Gegenströmer 42 und Leitung 66 in die Niederdrucksäule 26 eingespeist.

[0059] Die Sumpfflüssigkeit 166 der Niederdrucksäule 25 wird in den Verdampfungsraum des Niederdrucksäulen-Sumpfordampfers 28 eingeleitet und dort teilweise verdampft. Der flüssig verbliebene Anteil 67 strömt in den Verdampfungsraum des Nebenkondensators 29 und wird dort teilweise verdampft. Der im Nebenkondensator verdampfte Anteil 68 wird zum kalten Ende des Hauptwärmetauscher-Blocks 20 geleitet, auf etwa Umgebungstemperatur angewärmt und schließlich über Leitung 69 als gasförmiges Sauerstoffprodukt (GOX) einer Reinheit von 95 mol-% gewonnen. Der flüssig verbliebene Anteil wird zu einem Teil 70 in einer Pumpe 71 auf einen Druck von 6 bar, in dem Hauptwärmetauscher-Block 21 verdampft und angewärmt und schließlich dem gasförmigen Sauerstoffprodukt 69 zugemischt. Ein anderer Teil 72 kann über den Unterkühlungs-Gegenströmer 42, Pumpe 73 und Leitung 74 als Flüssigsauerstoffprodukt (LOX) gewonnen werden.

[0060] Eine flüssige Zwischenfraktion 75, die am unteren Ende des zweiten Niederdrucksäulenabschnitts 26 anfällt wird mittels einer Pumpe 76 in den Verdampfungsraum des Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfers 27 gefördert und dort teilweise verdampft. Dabei erzeugter Dampf wird gemeinsam mit dem am Kopf des ersten Niederdrucksäulenabschnitts 25 anfallenden Dampf über die Leitungen 77 und 79 in den zweiten Niederdrucksäulenabschnitt 26 geleitet, gegebenenfalls gemeinsam mit umlaufender Spülflüssigkeit 78. Der Rest der flüssig verbliebenen Zwischenfraktion dient als Rücklauf flüssigkeit im ersten Niederdrucksäulenabschnitt 25.

[0061] Am Kopf der Niederdrucksäule 26 wird stickstoffreiches Restgas 80 unter einem Druck von 1,26 bar abgezogen und nach Anwärmung in Unterkühlungs-Gegenströmer 42 und Hauptwärmetauscher 20 über Leitung 81 praktisch drucklos als trockenes Gas in den Verdunstungskühler 8 eingespeist und dort zur Abkühlung von Kühlwasser 82 genutzt.

[0062] **Figur 2** unterscheidet sich hinsichtlich zweier Verfahrensabschnitte von **Figur 1**, nämlich der Kälteerzeugung sowie der Luftverdichtung mit Vorkühlung und

Reinigung. Im Folgenden werden nur die abweichenden Aspekte näher erläutert, die beide unabhängig voneinander mit den übrigen Verfahrensabschnitten kombiniert werden können.

[0063] Kälte wird hier nicht durch eine Druckstickstoff-Turbine, sondern durch eine Einblaseturbine 153 erzeugt. Diese wird mit einem "vierten Einsatzluftstrom" 151, 152 betrieben, der aus dem ersten Luftteilstrom 119 unter dem niedrigeren ersten Gesamtluftdruck abgezweigt und in dem Hauptwärmetauscher 20 auf eine Zwischentemperatur abgekühlt wurde. Der arbeitsleistend entspannte vierte Einsatzluftstrom 154 wird der Niederdrucksäule 26 an einer geeigneten Zwischenstelle zugeführt.

[0064] Die Luftverdichtung ist hier einfacher ausgeführt als in **Figur 1** und weist insbesondere nur eine einzige Reinigungseinrichtung 118 auf, in der die Gesamtluft 105, 110 unter dem ersten Gesamtluftdruck gereinigt wird. Es wird auch nur ein Direktkontaktkühler 106 eingesetzt.

[0065] Die Aufteilung in den ersten Luftteilstrom 119 und den zweiten Luftteilstrom 111 wird hier stromabwärts der Reinigungseinrichtung 118 vorgenommen. Der Nachverdichter 112 ist wie in **Figur 1** aufgebaut, weist jedoch nur einen üblichen Nachkühler 113 auf und die Luft wird nicht in einem Direktkontaktkühler weiter abgekühlt. Über Leitung 119 wird dann der zweite Luftteilstrom analog zu Leitung 19 in **Figur 1** geführt.

[0066] **Figur 3** entspricht weitgehend **Figur 1**. Der warme Abschnitt des Verfahrens ist nicht dargestellt und kann wie in **Figur 1** oder wie in **Figur 2** ausgebildet sein.

[0067] Neben dem ersten Luftteilstrom 19 unter dem ersten Druck und dem zweiten Luftteilstrom wird ein Hochdruck-Einsatzluftstrom 233 in den Hauptwärmetauscher 20 eingeleitet. Der kalte Hochdruck-Einsatzluftstrom 235 tritt unter einem dritten Druck von 5,3 bar in eine dritte Hochdrucksäule 224 ein. Das stickstoffreiche Kopfgas 258 wird als Heizmittel in dem Nebenkondensator 228 eingesetzt und dort im Wesentlichen vollständig kondensiert. Dabei gewonnener flüssiger Stickstoff 259 wird zu einem ersten Teil 260 als Rücklauf auf den Kopf der dritten Hochdrucksäule 224 aufgegeben. Ein zweiter Teil 261 wird in dem Unterkühlungs-Gegenströmer 42 abgekühlt und über Leitung 262 als Rücklauf auf den Kopf der Niederdrucksäule 26 aufgegeben.

[0068] Der Nebenkondensator 228 ist bei diesem Ausführungsbeispiel als mehrstöckiger Badverdampfer ausgeführt, insbesondere als Kaskadenverdampfer, bei dem die einzelnen Stockwerke verdampfungsseitig seriell und verflüssigungsseitig parallel verbunden sind. Hierbei kann jede entsprechende Ausführungsform eines Kaskadenverdampfers eingesetzt werden, insbesondere diejenigen, die im Einzelnen in EP 1077356 A1, WO 0192798 A2 = US 2005028554 A1, WO 01092799 A1 = US 2003159810 A1, WO 03012352 A2 oder DE 102007003437 A1 beschrieben werden.

[0069] Statt der Druckstickstoff-Turbine 53 kann in dem Verfahren von **Figur 3** auch eine Einblaseturbine

eingesetzt werden, ebenso wie in den folgenden Figuren 4 bis 6.

[0070] Die dritte Hochdrucksäule 224 ist, wie in Figur 3 dargestellt, vorzugsweise unterhalb des Nebenkondensators 228 beziehungsweise der Kombination aus Nebenkondensator 228, Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer, erstem Abschnitt der Niederdrucksäule und Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer. Die räumliche Anordnung der übrigen Säulen entspricht derjenigen der Figuren 1 und 2.

[0071] **Figur 4** unterscheidet sich von Figur 1 dadurch, dass der erste Abschnitt 25 der Niederdrucksäule mit den beiden Verdampfern 27, 28 über der zweiten Hochdrucksäule 24 angeordnet ist.

[0072] In **Figur 5** ist der erste Abschnitt 25 der Niederdrucksäule mit den beiden Verdampfern 27, 28 dagegen über der ersten Hochdrucksäule 23 angeordnet.

[0073] Der Nebenkondensator 29 von **Figur 6** ist zwischen der zweiten Hochdrucksäule 24 und dem ersten Abschnitt 25 der Niederdrucksäule angeordnet. Ansonsten entspricht Figur 6 dem Ausführungsbeispiel von Figur 4. Die Anordnung des Nebenkondensators 29 zwischen zwei Trennsäulen nach Figur 6 kann auch auf das Ausführungsbeispiel der Figur 5 übertragen werden.

[0074] Die Verdichtung und Reinigung der Einsatzluft sowie eine etwaige Abzweigung von Instrumentenluft ist in den Figuren 7 bis 9 nicht dargestellt. Die für das Verfahren notwendigen zwei Luftströme mit unterschiedlichen Drücken werden mit nur einem aus zwei Sektionen bestehenden Luftverdichter geliefert. Die ganze Einsatzluft wird dabei in der ersten, zweistufigen Sektion auf einen Druck von ca. 3,8 bara gebracht und ausschließlich in das Vorkühlungssystem geleitet. Nach der Vorkühlung und Reinigung, wird ca. die Hälfte der Einsatzluft zurück in die zweite (einstufige) Verdichter-Sektion geführt und trocken auf einen Enddruck von ca. 5,35 bar verdichtet. Eine derartige Verdichtung und Reinigung der der Einsatzluft ist in Figur 2 im Detail dargestellt.

[0075] Ein erster Luftteilstrom 19 wird in **Figur 7** unter einem ersten Druck von ca. 3,6 bar dem warmen Ende eines Hauptwärmetauschers 20 zugeleitet. Die auf etwa Taupunkt abgekühlte Luft bildet einen "ersten Einsatzluftstrom" 22, der einer ersten Hochdrucksäule 23 zugeführt wird.

[0076] Die erste Hochdrucksäule 23 ist Teil eines Destilliersäulen-Systems zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung, das außerdem eine zweite Hochdrucksäule 24, eine Niederdrucksäule, einen Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer 27, einen Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer 28 und einen Nebenkondensator 29 aufweist. Alle diese Kondensatoren sind in dem Ausführungsbeispiel als Badverdampfer ausgebildet.

[0077] In dem Ausführungsbeispiel von Figur 7 sowie in den folgenden Figuren 8 und 9 sind die beiden Hochdrucksäulen 23, 24 übereinander angeordnet, und zwar die erste Hochdrucksäule 23 unterhalb der zweiten Hochdrucksäule 24. Die Niederdrucksäule ist einteilig ausgebildet - das heißt ihre beiden Abschnitten 25, 26

unterhalb und oberhalb des Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfers 27 sind in einem gemeinsamen Behälter angeordnet - und steht auf dem Boden. Die Kombination aus den beiden Hochdrucksäulen und die Niederdrucksäule sind nebeneinander angeordnet.

[0078] Ein zweiter Luftteilstrom 33 strömt unter einem zweiten Druck von ca. 5,25 bar zum Hauptwärmetauscher 20 und wird dort abgekühlt. Der abgekühlte zweite Luftteilstrom 34 wird aufgeteilt in einen "zweiten Einsatzluftstrom" 35, der in die zweite Hochdrucksäule 24 eingeleitet wird, und in einen "dritten Einsatzluftstrom" 36, welcher dem Verflüssigungsraum des Nebenkondensators 29 zugeleitet wird.

[0079] Der mindestens teilweise, vorzugsweise im Wesentlichen vollständig kondensierte dritte Teilstrom 37 wird zu einem ersten Teil 40 der ersten Hochdrucksäule 23 zugeleitet. Zu einem zweiten Teil 41 wird er über einen Unterkühlungs-Gegenströmer 42 und Leitung 43 in die Niederdrucksäule 26 eingespeist.

[0080] Stickstoffreiches Kopfgas der ersten Hochdrucksäule 23 wird zu einem ersten Teil 44 in dem Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer 27 kondensiert. Dabei gewonnener flüssiger Stickstoff 46 wird zu einem ersten Teil 47 als Rücklauf auf den Kopf der ersten Hochdrucksäule 23 aufgegeben. Ein zweiter Teil 48 wird in dem Unterkühlungs-Gegenströmer 42 abgekühlt und über Leitung 49 als Rücklauf auf den Kopf der Niederdrucksäule 26 aufgegeben. Ein Teil der unterkühlten Flüssigkeit kann bei Bedarf als Flüssigprodukt gewonnen werden (nicht dargestellt).

[0081] Ein zweiter Teil 51 des stickstoffreichen Kopfgases der ersten Hochdrucksäule 23 wird in dem Hauptwärmetauscher 20 auf eine Zwischentemperatur angewärmt. Der angewärmte Druckstickstoff 52 wird als gasförmiges Druckstickstoffprodukt (PGAN) gewonnen.

[0082] Stickstoffreiches Kopfgas 58 der zweiten Hochdrucksäule 24 wird in dem Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer 28 kondensiert. Dabei gewonnener flüssiger Stickstoff 59 wird zu einem ersten Teil 60 mittels einer Pumpe 57 als Rücklauf auf den Kopf der zweiten Hochdrucksäule 24 aufgegeben. Ein zweiter Teil 61 wird in dem Unterkühlungs-Gegenströmer 42 abgekühlt und über Leitung 62 als Rücklauf auf den Kopf der Niederdrucksäule 26 aufgegeben.

[0083] Die Sumpfflüssigkeit 64 der zweiten Hochdrucksäule 24 wird in die erste Hochdrucksäule 23 eingeleitet, und zwar am Sumpf und/oder etwas darüber. Die Sumpfflüssigkeit 63 der ersten Hochdrucksäule 23 wird über den Unterkühlungs-Gegenströmer 42 und Leitung 65 in die Niederdrucksäule 26 eingespeist.

[0084] Die Sumpfflüssigkeit der Niederdrucksäule 25 wird in den Verdampfungsraum des Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfers 28 eingeleitet und dort teilweise verdampft. Der flüssig verbliebene Anteil 67 strömt über eine Pumpe 56 in den Verdampfungsraum des Nebenkondensators 29 und wird dort unter einem Druck von ca. 1,65 bar teilweise verdampft. Der im Nebenkondensator verdampfte Anteil 68 wird zum kalten Ende des Haupt-

wärmetauschers 20 geleitet, auf etwa Umgebungstemperatur angewärmt und schließlich über Leitung 69 als gasförmiges Sauerstoffprodukt (GOX) gewonnen, in diesem speziellen Fall mit einer Reinheit von ca. 93 mol-%. Der flüssig verbliebene Anteil 86 wird zu einem Teil 70 in einer Pumpe 71 auf höheren Druck gebracht und in dem Hauptwärmetauscher 20 verdampft (beziehungsweise pseudo-verdampft, falls der Druck überkritisch ist) und angewärmt.

[0085] Falls lediglich eine kleine Spülmenge über die Pumpe 71 gefahren wird, sollte der höhere Druck des gepumpten Sauerstoffs überkritisch sein. Der angewärmte Spülstrom wird dann über Leitung 88 dem gasförmigen Sauerstoffprodukt 69 zugemischt oder alternativ als separates Produkt abgegeben.

[0086] In einer abweichenden Ausführungsform (gestrichelt gezeichnete Leitung 85) wird ein Teil des Sauerstoffprodukts als innenverdichtetes Produkt ICGOX gewonnen (zum Beispiel 15% der Gesamtmenge an Sauerstoff unter einem Druck von 7 bar). Dadurch wird der Nebenkondensator 29 ebenfalls sehr gut gespült. In diesem Fall reicht es aus, wenn die Pumpe 71 den flüssigen Sauerstoff auf den gewünschten Produktdruck (plus Leitungsverlusten) bringt.

[0087] Ein weiterer Teil 72 flüssig verbliebenen Anteils 86 aus dem Nebenkondensator 29 kann über den Unterkühlungs-Gegenströmer 42 und Leitung 74 als Flüssigsauerstoffprodukt (LOX) gewonnen werden.

[0088] Am Kopf der Niederdrucksäule 26 wird stickstoffreiches Restgas 80 unter einem Druck von ca. 1,33 bar abgezogen und nach Anwärmung in Unterkühlungs-Gegenströmer 42 und Hauptwärmetauscher 20 über Leitung 81 abgezogen und steht als trockenes Gas für einen Verdunstungskühler (nicht dargestellt) 8 zur Abkühlung von Kühlwasser zur Verfügung oder kann als Regeneriergas in einer Einrichtung zur Reinigung von Einsatzluft (ebenfalls nicht dargestellt) genutzt werden.

[0089] Kälte wird bei dem Verfahren durch eine Einblaseturbinen 153 erzeugt. Diese wird mit einem "vierten Einsatzluftstrom" 151 betrieben, der - wie der erste Luftteilstrom 19 - unter dem niedrigeren ersten Druck steht und in dem Hauptwärmetauscher 20 auf eine Zwischentemperatur abgekühlt wurde. Der arbeitsleistend entspannte vierte Einsatzluftstrom 154 wird der Niederdrucksäule 26 an einer geeigneten Zwischenstelle zugeführt.

[0090] Figur 8 unterscheidet sich dadurch von Figur 7, dass der Nebenkondensator 29 neben den Säulen angeordnet ist.

[0091] Außerdem wird hier das flüssige Sauerstoffprodukt 74 unter Druck gewonnen, indem der entsprechende Strom 72 stromabwärts der Pumpe 71 abgezweigt wird und in einem Abscheider 201 in einen gasförmigen Anteil 202 und einen flüssigen Anteil 272 getrennt wird. Diese Variante ist insbesondere dann von Vorteil, wenn mit der Pumpe 71 relativ große Menge als innenverdichtetes Produkt (ICGOX) erzeugt wird. Diese wird dann gleichzeitig als Produktpumpe für das flüssige Sauer-

stoffprodukt verwendet. Der Abscheider 201 ist relativ hoch in der Coldbox installiert und das Flüssigprodukt 272 strömt mittels hydrostatischen Drucks aus diesem Abscheider in den Speichertank.

[0092] Figur 9 entspricht weitgehend Figur 8. Der Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer 28 ist jedoch statt im Sumpf des unteren Niederdrucksäulen-Abschnitts 25 am Kopf der zweiten Hochdrucksäule 24 angeordnet, also oberhalb der zweiten Hochdrucksäule. Hierdurch kommt das System ohne Flüssigstickstoffpumpe aus. Die Rücklaufflüssigkeit 60 strömt allein aufgrund des Gefälles zum Kopf der zweiten Hochdrucksäule 24.

15 Patentansprüche

1. Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft in einem Destilliersäulen-System zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung, das eine erste Hochdrucksäule (23) und eine Niederdrucksäule (25, 26) aufweist sowie drei Kondensator-Verdampfer, nämlich einen Hochdrucksäulen-Kopfcondensator (27), einen Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer (28) und einen Nebenkondensator (29; 228), wobei bei dem Verfahren

- ein erster Einsatzluftstrom in einem Hauptwärmetauscher (20, 21) abgekühlt wird,
- der abgekühlte erste Einsatzluftstrom (22) unter einem ersten Druck in die erste Hochdrucksäule (23) eingeführt wird,
- in dem Hochdrucksäulen-Kopfcondensator (27) gasförmiger Kopfstickstoff (44, 45) aus der ersten Hochdrucksäule (23) kondensiert wird,
- mindestens ein Teil (47) des in dem Hochdrucksäulen-Kopfcondensator (27) kondensierten Kopfstickstoffs (46) als Rücklaufflüssigkeit auf die erste Hochdrucksäule (23) aufgegeben wird,
- ein Teil der Sumpfflüssigkeit (166) der Niederdrucksäule (25, 26) in dem Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer (28) in indirektem Wärmeaustausch mit einem kondensierenden Heizfluid (58) verdampft wird,
- ein nicht verdampfter Teil (67) der Sumpfflüssigkeit (166) der Niederdrucksäule (25, 26) in dem Nebenkondensator (29; 228) mindestens teilweise verdampft wird und
- mindestens ein Teil der in dem Nebenkondensator (29; 228) verdampften Flüssigkeit (68) als gasförmiges Sauerstoffprodukt (69) gewonnen wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

- das Destilliersäulen-System zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung außerdem eine zweite Hochdrucksäule (24) aufweist,
- ein zweiter Einsatzluftstrom in dem Hauptwär-

- metauscher (20, 21) abgekühlt wird,
 - der abgekühlte zweite Einsatzluftstrom (35) unter einem zweiten Druck, der höher ist als der erste Druck, in die zweite Hochdrucksäule (24) eingeleitet wird und
 - mindestens ein Teil des Kopfgases (58) der zweiten Hochdrucksäule (24) als Heizfluid (58) in dem Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer (28) eingesetzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein stickstoffangereicherter Strom (51, 52) aus einer Hochdrucksäule (23) des Destilliersäulen-Systems zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung arbeitsleistend entspannt (53) und der arbeitsleistend entspannte stickstoffangereicherte Strom (54) in dem Hauptwärmetauscher (20, 21) angewärmt wird, wobei insbesondere mindestens ein Teil des angewärmten stickstoffangereicherten Stroms (55) als Regeneriergas (56, 57) in einer Reinigungseinrichtung (18, 30; 118) für Einsatzluft eingesetzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hochdrucksäulen-Kopf-kondensator (27) als Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer (27) betrieben wird, indem dort eine flüssige Zwischenfraktion (75) aus der Niederdrucksäule (25, 26) verdampft und mindestens ein Teil der in dem Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer (27) verdampften Zwischenfraktion als aufsteigendes Gas in die Niederdrucksäule (25, 26) eingeleitet (77, 79) wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Niederdrucksäule durch mindestens zwei Abschnitte gebildet wird, wobei ein erster Abschnitt (25) und einen zweiten Abschnitt (26) jeweils in einem separaten Behälter, der Stoffaustauschelemente enthält, angeordnet sind und der zweite Abschnitt (26) der Niederdrucksäule neben der ersten Hochdrucksäule (23) angeordnet ist.
5. Verfahren nach Anspruch 3 und 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Abschnitt (25) der Niederdrucksäule die Stoffaustauschelemente zwischen Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer (27) und Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer (28) enthält und der zweite Abschnitt (26) die Stoffaustauschelemente am Kopf der Niederdrucksäule.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Abschnitt (25) der Niederdrucksäule neben der ersten Hochdrucksäule (23) angeordnet ist, insbesondere zwischen erster Hochdrucksäule (23) und zweiten Abschnitt (26) der Niederdrucksäule.
7. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Abschnitt (25) der Niederdrucksäule über der ersten Hochdrucksäule (23) angeordnet ist.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hochdrucksäulen-Kopf-kondensator (27) oberhalb des beziehungsweise innerhalb des ersten Abschnitts (25) der Niederdrucksäule angeordnet ist.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer (28) unterhalb des beziehungsweise innerhalb des ersten Abschnitts (25) der Niederdrucksäule angeordnet ist.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 **dadurch gekennzeichnet, dass** der Nebenkondensator (29; 228) unterhalb des Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfers (28) angeordnet ist.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste und die zweite Hochdrucksäule (23, 24) übereinander angeordnet sind und die erste Hochdrucksäule (23) unterhalb der zweiten Hochdrucksäule (24) angeordnet ist.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Nebenkondensator (29) zwischen der ersten und der zweiten Hochdrucksäule angeordnet ist.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein dritter Einsatzluftstrom in dem Hauptwärmetauscher (20, 21) abgekühlt wird und der abgekühlte dritte Einsatzluftstrom (36) in dem Nebenkondensator (29) mindestens teilweise kondensiert wird, wobei insbesondere der dritte Einsatzluftstrom (36) bei der Einleitung in den Nebenkondensator (29) unter einem dritten Druck steht, der höher ist als der erste Druck.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- ein Gesamtluftstrom (1) auf einen ersten Gesamtluftdruck verdichtet wird, der höher als der erste Druck, aber niedriger als der zweite Druck ist,
 - der Gesamtluftstrom (5, 9) unter dem ersten Gesamtluftdruck in einen ersten Luftteilstrom (10) und einen zweiten Luftteilstrom (11) aufgeteilt wird,
 - der erste Luftteilstrom (10, 19) unter etwa dem ersten Gesamtluftdruck in den Hauptwärmetauscher (20, 21) eingeleitet und dort abgekühlt

- wird,
- der erste Einsatzluftstrom (22) für die erste Hochdrucksäule (23) durch mindestens einen Teil des abgekühlten ersten Luftteilstroms gebildet wird,
 - der zweite Luftteilstrom (11) auf einen Druck nachverdichtet (12) wird, der höher als der erste Gesamtluftdruck ist,
 - der nachverdichtete zweite Luftteilstrom (14, 17, 33) in den Hauptwärmetauscher (20, 21) eingeleitet und dort abgekühlt wird und
 - der zweite Einsatzluftstrom (35) für die zweite Hochdrucksäule (24) durch mindestens einen Teil des abgekühlten zweiten Luftteilstroms (34) gebildet wird.
- 15
15. Verfahren nach Anspruch 13 und 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der dritte Einsatzluftstrom (36) für den Nebenkondensator (29) durch mindestens einen Teil des abgekühlten zweiten Luftteilstroms (34) gebildet wird.
- 20
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** der dritte Druck gleich dem zweiten Druck ist.
- 25
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein vierter Einsatzluftstrom (151, 152) arbeitsleistend entspannt (153) und in die Niederdrucksäule (25, 26) eingeleitet (154) wird.
- 30
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Nebenkondensator (29) als Badverdampfer ausgebildet ist.
- 35
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hochdrucksäulen-Kopf-kondensator (27) und der Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer (28) als Badverdampfer ausgebildet sind.
- 40
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer (28) am Kopf der zweiten Hochdrucksäule (24) angeordnet ist.
- 45
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hochdrucksäulen-Kopf-kondensator (27) und/oder Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer (28) als Fallfilmverdampfer ausgestaltet sind.
- 50
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Teil der in dem Nebenkondensator (29) nicht verdampften Flüssigkeit (70) in einer Pumpe (71) auf einen erhöhten Druck gebracht, unter dem erhöhten Druck
- 55

in dem Hauptwärmetauscher (20) angewärmt und schließlich als gasförmiges Sauerstoffprodukt unter Druck (ICGOX) gewonnen wird.

- 5 23. Vorrichtung zur Tieftemperaturzerlegung von Luft in einem Destilliersäulen-System zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung mit einem Destilliersäulen-System zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung, das eine erste Hochdrucksäule (23) und eine Niederdrucksäule (25, 26) aufweist sowie drei Kondensator-Verdampfer, nämlich einen Hochdrucksäulen-Kopf-kondensator (27), einen Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer (28) und einen Nebenkondensator (29; 228), und mit
- 10
- 15

- einem Hauptwärmetauscher (20, 21) zum Abkühlen eines ersten Einsatzluftstroms,
- Mitteln zum Einführen des abgekühlten ersten Einsatzluftstroms (22) unter einem ersten Druck in die erste Hochdrucksäule (23),
- Mitteln zum Einführen von) gasförmigem Kopfstickstoff (44, 45) aus der ersten Hochdrucksäule (23) in den Verflüssigungsraum des Hochdrucksäulen-Kopf-kondensators (27),
- Mitteln zum Aufgeben mindestens eines Teils (47) des in dem Hochdrucksäulen-Kopf-kondensator (27) kondensierten Kopfstickstoffs (46) als Rücklaufflüssigkeit auf die erste Hochdrucksäule (23),
- Mitteln zum Einleiten mindestens eines Teils der Sumpfflüssigkeit (66) der Niederdrucksäule (25, 26) in den Verdampfungsraum des Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfers (28),
- Mitteln zum Einleiten eines Heizfluid (58) in den Verflüssigungsraum des Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfers (28),
- Mitteln zum Einleiten eines nicht verdampften Teils (67) der Sumpfflüssigkeit (66) der Niederdrucksäule (25, 26) in den Verdampfungsraum des Nebenkondensators (29; 228) und mit
- Mitteln zum Gewinnen mindestens eines Teils der in dem Nebenkondensator (29; 228) verdampften Flüssigkeit (68) als gasförmiges Sauerstoffprodukt (69),

dadurch gekennzeichnet, dass

- das Destilliersäulen-System zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung außerdem eine zweite Hochdrucksäule (24) aufweist, und das die Vorrichtung ferner
- Mittel zum Einleiten eines zweiten Einsatzluftstroms in dem Hauptwärmetauscher (20, 21),
- Mittel zum Einleiten des im Hauptwärmetauscher abgekühlten zweiten Einsatzluftstroms (35) in die zweite Hochdrucksäule (24), und
- Mittel zum Einleiten mindestens eines Teils des Kopfgases (58) der zweiten Hochdrucksäule

(24) als Heizfluid in den Verflüssigungsraum der Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer (28) aufweist, wobei

- insbesondere Regelungsmittel vorgesehen sind, die bewirken, dass der zweite Einsatzluftstrom (35) unter einem zweiten Druck, der höher ist als der erste Druck, in die zweite Hochdrucksäule (24) eingeleitet wird.

24. Vorrichtung nach Anspruch 23, **gekennzeichnet, durch** eine Entspannungsmaschine (53) zur arbeitsleistenden Entspannung eines stickstoffangereicherten Stroms (51, 52) aus einer Hochdrucksäule (23) des Destilliersäulen-Systems zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung arbeitsleistend entspannt (53) und durch Mittel zum Anwärmen des arbeitsleistend entspannten stickstoffangereicherten Stroms (54) in dem Hauptwärmetauscher (20, 21), wobei insbesondere Mittel zum Einleiten mindestens eines Teils des angewärmten stickstoffangereicherten Stroms (55) als Regeneriergas (56, 57) in eine Reinigungseinrichtung (18, 30; 118) für Einsatzluft vorgesehen sind.

Claims

1. Method for the cryogenic separation of air in a distillation column system for nitrogen/oxygen separation that comprises a first high-pressure column (23) and a low-pressure column (25, 26) and also three condenser-evaporators, namely a high-pressure column overhead condenser (27), a low-pressure column bottoms evaporator (28) and an auxiliary condenser (29; 228), in which method

- a first feed air stream is cooled in a main heat exchanger (20, 21),
 - the cooled first feed air stream (22) is introduced at a first pressure into the first high-pressure column (23),
 - in the high-pressure column overhead condenser (27), gaseous overhead nitrogen (44, 45) from the first high-pressure column (23) is condensed,
 - at least one portion (47) of the overhead nitrogen (46) condensed in the high-pressure column overhead condenser (27) is applied as reflux liquid to the first high-pressure column (23),
 - one portion of the bottoms liquid (166) of the low-pressure column (25, 26) is evaporated in the low-pressure column bottoms evaporator (28) in indirect heat exchange with a condensing heating fluid (58),
 - an unevaporated portion (67) of the bottoms liquid (166) of the low-pressure column (25, 26) is at least partly evaporated in the auxiliary condenser (29; 228), and

- at least one portion of the liquid (68) evaporated in the auxiliary condenser (29; 228) is obtained as a gaseous oxygen product (69), **characterized in that**

- the distillation column system for nitrogen/oxygen separation further comprises a second high-pressure column (24),
 - a second feed air stream is cooled in the main heat exchanger (20, 21),
 - the cooled second feed air stream (35) is passed into the second high-pressure column (24) at a second pressure, which is higher than the first pressure, and
 - at least one portion of the overhead gas (58) of the second high-pressure column (24) is used as heating fluid (58) in the low-pressure column bottoms evaporator (28).

2. Method according to Claim 1, **characterized in that** a nitrogen-enriched stream (51, 52) from a high-pressure column (23) of the distillation column system for nitrogen/oxygen separation is work-productively expanded (53), and the work-productively expanded, nitrogen-enriched stream (54) is warmed in the main heat exchanger (20, 21), and in particular at least one portion of the warmed, nitrogen-enriched stream (55) is used as regenerating gas (56, 57) in a purification device (18, 30; 118) for feed air.

3. Method according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the high-pressure column overhead condenser (27) is operated as a low-pressure column intermediate evaporator (27) by evaporating therein a liquid intermediate fraction (75) from the low-pressure column (25, 26) and passing (77, 79) at least one portion of the intermediate fraction evaporated in the low-pressure column intermediate evaporator (27) as ascending gas into the low-pressure column (25, 26).

4. Method according to any one of Claims 1 to 3, **characterized in that** the low-pressure column is formed by at least by two sections, a first section (25) and a second section (26) being arranged in each case in a separate container which comprises mass transfer elements, and the second section (26) of the low-pressure column being arranged alongside the first high-pressure column (23).

5. Method according to Claims 3 and 4, **characterized in that** the first section (25) of the low-pressure column comprises the mass transfer elements between low-pressure column intermediate evaporator (27) and low-pressure column bottoms evaporator (28), and the second section (26) comprises the mass transfer elements at the top of the low-pressure column.

6. Method according to Claim 5, **characterized in that**

- first section (25) of the low-pressure column is arranged alongside the first high-pressure column (23), more particularly between the first high-pressure column (23) and second section (26) of the low-pressure column.
7. Method according to Claim 5, **characterized in that** the first section (25) of the low-pressure column is arranged over the first high-pressure column (23) .
 8. Method according to any of Claims 4 to 7, **characterized in that** the high-pressure column overhead condenser (27) is arranged above or within the first section (25) of the low-pressure column.
 9. Method according to any of Claims 4 to 8, **characterized in that** the low-pressure column bottoms evaporator (28) is arranged below or within the first section (25) of the low-pressure column.
 10. Method according to any of Claims 1 to 9, **characterized in that** the auxiliary condenser (29; 228) is arranged below the low-pressure column bottoms evaporator (28).
 11. Method according to any of Claims 1 to 10, **characterized in that** the first and second high-pressure columns (23, 24) are arranged over one another and the first high-pressure column (23) is arranged below the second high-pressure column (24) .
 12. Method according to Claim 11, **characterized in that** the auxiliary condenser (29) is arranged between the first and second high-pressure columns.
 13. Method according to any of Claims 1 to 12, **characterized in that** a third feed air stream is cooled in the main heat exchanger (20, 21), and the cooled third feed air stream (36) is at least partly condensed in the auxiliary condenser (29), more particularly the third feed air stream (36), on being passed into the auxiliary condenser (29), being at a third pressure, which is higher than the first pressure.
 14. Method according to any of Claims 1 to 13, **characterized in that**
 - a total air stream (1) is compressed to a first total air pressure, which is higher than the first pressure but lower than the second pressure,
 - the total air stream (5, 9) at the first total air pressure is divided into a first air substream (10) and a second air substream (11),
 - the first air substream (10, 19) at approximately the first total air pressure is passed into the main heat exchanger (20, 21) where it is cooled,
 - the first feed air stream (22) for the first high-pressure column (23) is formed by at least one
 - portion of the cooled first air substream,
 - the second air substream (11) is boosted (12) to a pressure which is higher than the first total air pressure,
 - the boosted second air substream (14, 17, 33) is passed into the main heat exchanger (20, 21), where it is cooled, and
 - the second feed air stream (35) for the second high-pressure column (24) is formed by at least one portion of the cooled second air substream (34) .
 15. Method according to Claims 13 and 14, **characterized in that** the third feed air stream (36) for the auxiliary condenser (29) is formed by at least one portion of the cooled second air substream (34).
 16. Method according to any of Claims 1 to 15, **characterized in that** the third pressure is equal to the second pressure.
 17. Method according to any of Claims 1 to 16, **characterized in that** a fourth feed air stream (151, 152) is work-producingly expanded (153) and passed (154) into the low-pressure column (25, 26) .
 18. Method according to any of Claims 1 to 17, **characterized in that** the auxiliary condenser (29) is configured as a bath evaporator.
 19. Method according to any of Claims 1 to 18, **characterized in that** the high-pressure column overhead condenser (27) and the low-pressure column bottoms evaporator (28) are configured as bath evaporators.
 20. Method according to any of Claims 1 to 19, **characterized in that** the low-pressure column bottoms evaporator (28) is arranged at the top of the second high-pressure column (24).
 21. Method according to any of Claims 1 to 20, **characterized in that** the high-pressure column overhead condenser (27) and/or the low-pressure column bottoms evaporator (28) are embodied as falling film evaporators.
 22. Method according to Claim 11, **characterized in that** at least one portion of the liquid (70) not evaporated in the auxiliary condenser (29) is brought to an increased pressure in a pump (71), warmed under the increased pressure in the main heat exchanger (20), and finally recovered as gaseous oxygen product under pressure (ICGOX).
 23. Apparatus for the cryogenic separation of air in a distillation column system for nitrogen/oxygen separation, having a distillation column system for nitro-

gen/oxygen separation that comprises a first high-pressure column (23) and a low-pressure column (25, 26) and also three condenser-evaporators, namely a high-pressure column overhead condenser (27), a low-pressure column bottoms evaporator (28), and an auxiliary condenser (29; 228), and having

- a main heat exchanger (20, 21) for cooling a first feed air stream,
 - means for introducing the cooled first feed air stream (22) at a first pressure into the first high-pressure column (23),
 - means for introducing gaseous overhead nitrogen (44, 45) from the first high-pressure column (23) into the liquefaction chamber of the high-pressure column overhead condenser (27),
 - means for applying at least one portion (47) of the overhead nitrogen (46) condensed in the high-pressure column overhead condenser (27) as reflux liquid to the first high-pressure column (23),
 - means for passing at least one portion of the bottoms liquid (66) of the low-pressure column (25, 26) into the evaporation chamber of the low-pressure column bottoms evaporator (28),
 - means for passing a heating fluid (58) into the liquefaction chamber of the low-pressure column bottoms evaporator (28),
 - means for passing an unevaporated portion (67) of the bottoms liquid (66) of the low-pressure column (25, 26) into the evaporation chamber of the auxiliary condenser (29; 228), and having
 - means for obtaining at least one portion of the liquid (68) evaporated in the auxiliary condenser (29; 228) as a gaseous oxygen product (69),
- characterized in that**
- the distillation column system for nitrogen/oxygen separation further comprises a second high-pressure column (24),
 - and **in that** the apparatus further comprises
 - means for passing a second feed air stream in the main heat exchanger (20, 21),
 - means for passing the second feed air stream (35) cooled in the main heat exchanger into the second high-pressure column (24), and
 - means for passing at least one portion of the overhead gas (58) of the second high-pressure column (24) as heating fluid into the liquefaction chamber of the low-pressure column bottoms evaporator (28),
- where
- in particular, regulating means are provided whose effect is that the second feed air stream (35) is passed at a second pressure, which is higher than the first pressure, into the second

high-pressure column (24).

- 24.** Apparatus according to Claim 23, **characterized by** an expansion machine (53) for the work-producing expansion of a nitrogen-enriched stream (51, 52) from a high-pressure column (23) of the distillation column system for nitrogen/oxygen separation work-producingly expanded (53) and by means for the warming of the work-producingly expanded, nitrogen-enriched stream (54) in the main heat exchanger (20, 21), more particularly means being provided for passing at least one portion of the warmed, nitrogen-enriched stream (55) as regenerating gas (56, 57) into a purifying device (18, 30; 118) for feed air.

Revendications

1. Procédé de décomposition à basse température d'air dans un système de colonnes de distillation pour la séparation de l'azote et de l'oxygène, qui présente une colonne haute pression (23) et une colonne basse pression (25, 26) ainsi que trois condenseurs-évaporateurs, à savoir un condenseur de tête de colonne haute pression (27), un évaporateur de fond de colonne basse pression (28) et un condenseur auxiliaire (29; 228), dans lequel dans le procédé
 - on refroidit un premier courant d'air de charge dans un échangeur de chaleur principal (20, 21),
 - on introduit le premier courant d'air de charge refroidi (22) sous une première pression dans la première colonne haute pression (23),
 - on condense de l'azote de tête gazeux (44, 45) provenant de la première colonne haute pression (23) dans le condenseur de tête de colonne haute pression (27),
 - on cède au moins une partie (47) de l'azote de tête (46) condensé dans le condenseur de tête de colonne haute pression (27) en tant que liquide de retour à la première colonne haute pression (23),
 - on évapore une partie du liquide de fond (166) de la colonne basse pression (25, 26) dans l'évaporateur de fond de colonne basse pression (28) en échange de chaleur indirect avec un fluide de chauffage qui se condense (58),
 - on évapore au moins en partie une partie non évaporée (67) du liquide de fond (166) de la colonne basse pression (25, 26) dans le condenseur auxiliaire (29; 228), et
 - on récupère au moins une partie du liquide (68) évaporé dans le condenseur auxiliaire (29; 228) en tant que produit d'oxygène gazeux (69),

caractérisé en ce que

- le système de colonnes de distillation pour la séparation de l'azote et de l'oxygène présente par ailleurs une deuxième colonne haute pression (24),
 - on refroidit un deuxième courant d'air de charge (35) dans l'échangeur de chaleur principal (20, 21),
 - on introduit le deuxième courant d'air de charge refroidi (35) dans la deuxième colonne haute pression (24) sous une deuxième pression, qui est plus élevée que la première pression, et
 - on introduit au moins une partie du gaz de tête (58) de la deuxième colonne haute pression (24) en tant que fluide de chauffage (58) dans l'évaporateur de fond de colonne basse pression (28).
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'on détend (53) un courant enrichi en azote (51, 52) provenant d'une colonne haute pression (23) du système de colonnes de distillation pour la séparation de l'azote et de l'oxygène en produisant un travail et on chauffe le courant enrichi en azote (54) détendu en produisant un travail dans l'échangeur de chaleur principal (20, 21), dans lequel on introduit en particulier au moins une partie du courant enrichi en azote chauffé (55) en tant que gaz de régénération (56, 57) dans un dispositif d'épuration (18, 30; 118) pour l'air de charge.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'on utilise le condenseur de tête de colonne haute pression (27) comme évaporateur intermédiaire de colonne basse pression (27), du fait que l'on y évapore une fraction intermédiaire liquide (75) provenant de la colonne basse pression (25, 26) et que l'on introduit (77, 79) au moins une partie de la fraction intermédiaire évaporée dans l'évaporateur intermédiaire de colonne basse pression (27) en tant que gaz ascendant dans la colonne basse pression (25, 26).
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** la colonne basse pression est formée par au moins par deux parties, dans lequel une première partie (25) et une deuxième partie (26) sont disposées respectivement dans un réservoir séparé, qui contient des éléments d'échange de matière, et la deuxième partie (26) de la colonne basse pression est disposée à côté de la première colonne haute pression (23) .
5. Procédé selon la revendication 3 et 4, **caractérisé en ce que** la première partie (25) de la colonne basse pression contient les éléments d'échange de matière entre l'évaporateur intermédiaire de colonne basse pression (27) et l'évaporateur de fond de colonne basse pression (28) et la deuxième partie (26) contient les éléments d'échange de matière à la tête de la colonne basse pression.
6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** première partie (25) de la colonne basse pression est disposée à côté de la première colonne haute pression (23), en particulier entre la première colonne haute pression (23) et la deuxième partie (26) de la colonne basse pression.
7. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** la première partie (25) de la colonne basse pression est disposée au-dessus de la première colonne haute pression (23).
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, **caractérisé en ce que** le condenseur de tête de colonne haute pression (27) est disposé au-dessus ou à l'intérieur de la première partie (25) de la colonne basse pression.
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 8, **caractérisé en ce que** l'évaporateur de fond de colonne basse pression (28) est disposé en dessous ou à l'intérieur de la première partie (25) de la colonne basse pression.
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** le condenseur auxiliaire (29; 228) est disposé en dessous de l'évaporateur de fond de colonne basse pression (28).
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce que** la première et la deuxième colonnes haute pression (23, 24) sont disposées l'une au-dessus de l'autre et la première colonne haute pression (23) est disposée en dessous de la deuxième colonne haute pression (24).
12. Procédé selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** le condenseur auxiliaire (29) est disposé entre la première et la deuxième colonnes haute pression.
13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** l'on refroidit un troisième courant d'air de charge dans l'échangeur de chaleur principal (20, 21) et l'on condense au moins en partie le troisième courant d'air de charge refroidi (36) dans le condenseur auxiliaire (29), dans lequel en particulier le troisième courant d'air de charge (36) se trouve, lors de l'introduction dans le condenseur auxiliaire (29), sous une troisième pression qui est plus élevée que la première pression.
14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, **caractérisé en ce que**

- on comprime un courant d'air total (1) à une première pression d'air total, qui est plus élevée que la première pression, mais moins élevée que la deuxième pression,
 - on divise le courant d'air total (5, 9) sous la première pression d'air total en un premier courant d'air partiel (10) et un deuxième courant d'air partiel (11),
 - on introduit le premier courant d'air partiel (10, 19) sous environ la première pression d'air total dans l'échangeur de chaleur principal (20, 21) et on l'y refroidit,
 - on forme le premier courant d'air de charge (22) pour la première colonne haute pression (23) par au moins une partie du premier courant d'air partiel refroidi,
 - on recomprime (12) le deuxième courant d'air partiel (11) à une pression, qui est plus élevée que la première pression d'air total,
 - on introduit le deuxième courant d'air partiel recomprimé (14, 17, 33) dans l'échangeur de chaleur principal (20, 21) et on l'y refroidit, et
 - on forme le deuxième courant d'air de charge (35) pour la deuxième colonne haute pression (24) par au moins une partie du deuxième courant d'air partiel refroidi (34).
15. Procédé selon la revendication 13 et 14, **caractérisé en ce que** l'on forme le troisième courant d'air de charge (36) pour le condenseur auxiliaire (29) par au moins une partie du deuxième courant d'air partiel refroidi (34).
16. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, **caractérisé en ce que** la troisième pression est égale à la deuxième pression.
17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, **caractérisé en ce que** l'on détend (153) un quatrième courant d'air de charge (151, 152) en produisant un travail et on l'introduit (154) dans la colonne basse pression (25, 26).
18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, **caractérisé en ce que** le condenseur auxiliaire (29) est constitué par un évaporateur à bain.
19. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 18, **caractérisé en ce que** le condenseur de tête de colonne haute pression (27) et l'évaporateur de fond de colonne basse pression (28) sont constitués par des évaporateurs à bain.
20. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 19, **caractérisé en ce que** l'évaporateur de fond de colonne basse pression (28) est disposé à la tête de la deuxième colonne haute pression (24).
21. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 20, **caractérisé en ce que** le condenseur de tête de colonne haute pression (27) et/ou l'évaporateur de fond de colonne basse pression (28) sont constitués par des évaporateurs à film tombant.
22. Procédé selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** l'on porte au moins une partie du liquide (70) non évaporé dans le condenseur auxiliaire (29) dans une pompe (71) à une pression accrue, on le chauffe sous la pression accrue dans l'échangeur de chaleur principal (20) et on le récupère finalement sous forme de produit d'oxygène gazeux sous pression (ICGOX).
23. Dispositif destiné à la décomposition à basse température d'air dans un système de colonnes de distillation pour la séparation de l'azote et de l'oxygène avec un système de colonnes de distillation pour la séparation de l'azote et de l'oxygène, qui présente une colonne haute pression (23) et une colonne basse pression (25, 26) ainsi que trois condenseurs-évaporateurs, à savoir un condenseur de tête de colonne haute pression (27), un évaporateur de fond de colonne basse pression (28) et un condenseur auxiliaire (29; 228), et avec
- un échangeur de chaleur principal (20, 21) pour refroidir un premier courant d'air de charge,
 - des moyens pour introduire le premier courant d'air de charge refroidi (22) sous une première pression dans la première colonne haute pression (23),
 - des moyens pour introduire de l'azote de tête gazeux (44, 45) provenant de la première colonne haute pression (23) dans la chambre de condensation du condenseur de tête de colonne haute pression (27),
 - des moyens pour céder au moins une partie (47) de l'azote de tête (46) condensé dans le condenseur de tête de colonne haute pression (27) en tant que liquide de retour à la première colonne haute pression (23),
 - des moyens pour introduire au moins une partie du liquide de fond (66) de la colonne basse pression (25, 26) dans la chambre d'évaporation de l'évaporateur de fond de colonne basse pression (28),
 - des moyens pour introduire un fluide de chauffage (58) dans la chambre de condensation de l'évaporateur de fond de colonne basse pression (28),
 - des moyens pour introduire une partie non évaporée (67) du liquide de fond (66) de la colonne basse pression (25, 26) dans la chambre d'évaporation du condenseur auxiliaire (29; 228), et avec
 - des moyens pour récupérer au moins une par-

tie du liquide (68) évaporé dans le condenseur auxiliaire (29; 228) en tant que produit d'oxygène gazeux (69), **caractérisé en ce que**

- le système de colonnes de distillation pour la séparation de l'azote et de l'oxygène présente par ailleurs une deuxième colonne haute pression (24), 5

et **en ce que** le dispositif présente en outre

- des moyens pour introduire un un deuxième courant d'air de charge dans l'échangeur de chaleur principal (20, 21), 10

- des moyens pour introduire le deuxième courant d'air de charge (35) refroidi dans l'échangeur principal dans la deuxième colonne haute pression (24), et 15

- des moyens pour introduire au moins une partie du gaz de tête (58) de la deuxième colonne haute pression (24) en tant que fluide de chauffage dans la chambre de condensation de l'évaporateur de fond de colonne basse pression (28), 20

dans lequel

- il est prévu en particulier des moyens de régulation, qui font en sorte que le deuxième courant d'air de charge (35) soit introduit dans la deuxième colonne haute pression (24) sous une deuxième pression, qui est plus élevée que la première pression. 25

- 24.** Dispositif selon la revendication 23, **caractérisé par** 30
une machine de détente (53) pour la détente avec production de travail d'un courant enrichi en azote (51, 52) provenant d'une colonne haute pression (23) du système de colonnes de distillation pour la séparation de l'azote et de l'oxygène détendu (53) 35
en produisant un travail et par des moyens pour chauffer le courant enrichi en azote (54) détendu en produisant un travail dans l'échangeur de chaleur principal (20, 21), dans lequel il est prévu en particulier des moyens pour introduire au moins une partie du courant enrichi en azote chauffé (55) en tant 40
que gaz de régénération (56, 57) dans un dispositif d'épuration (18, 3a0; 118) pour l'air de charge.

45

50

55

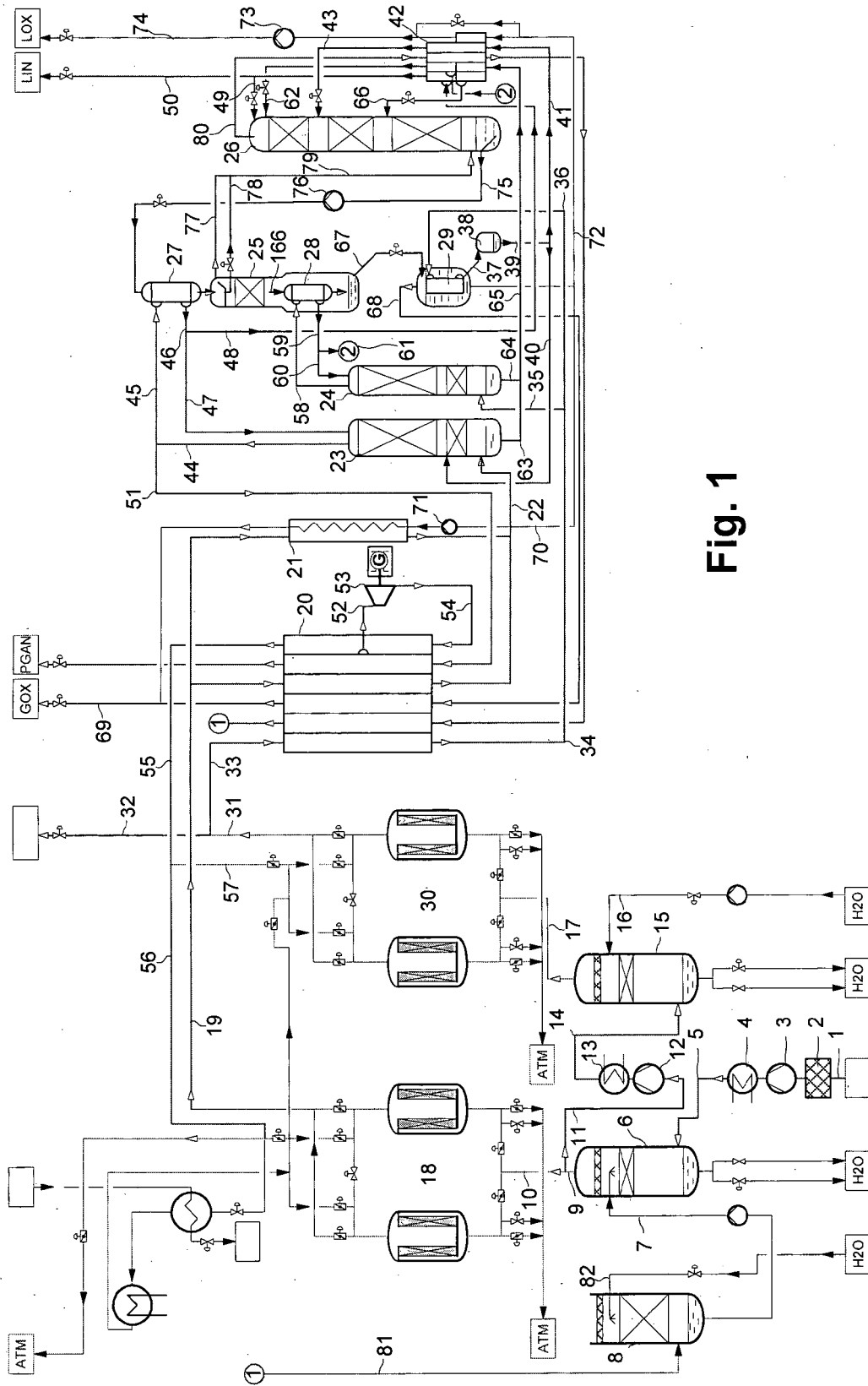


Fig. 1

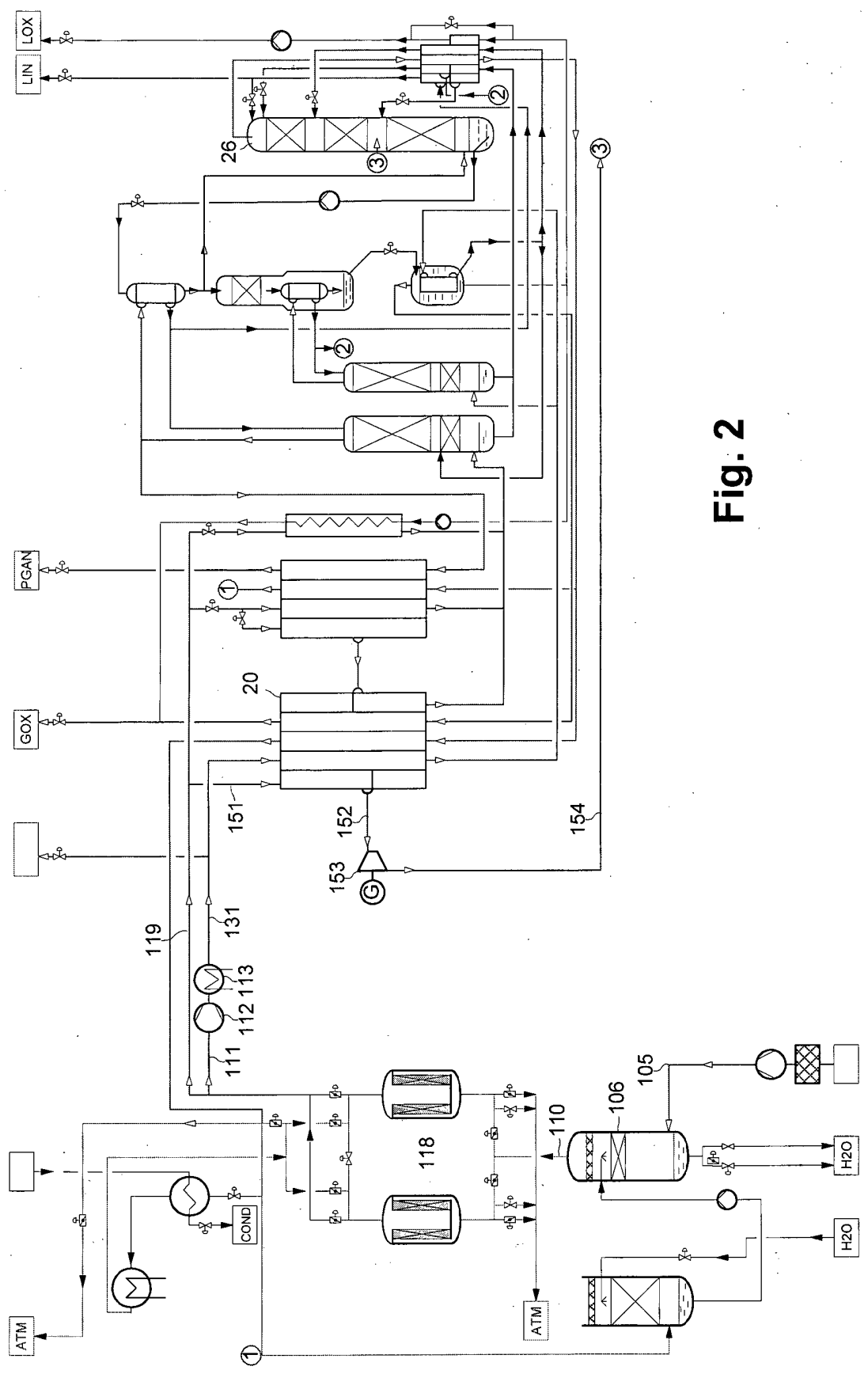
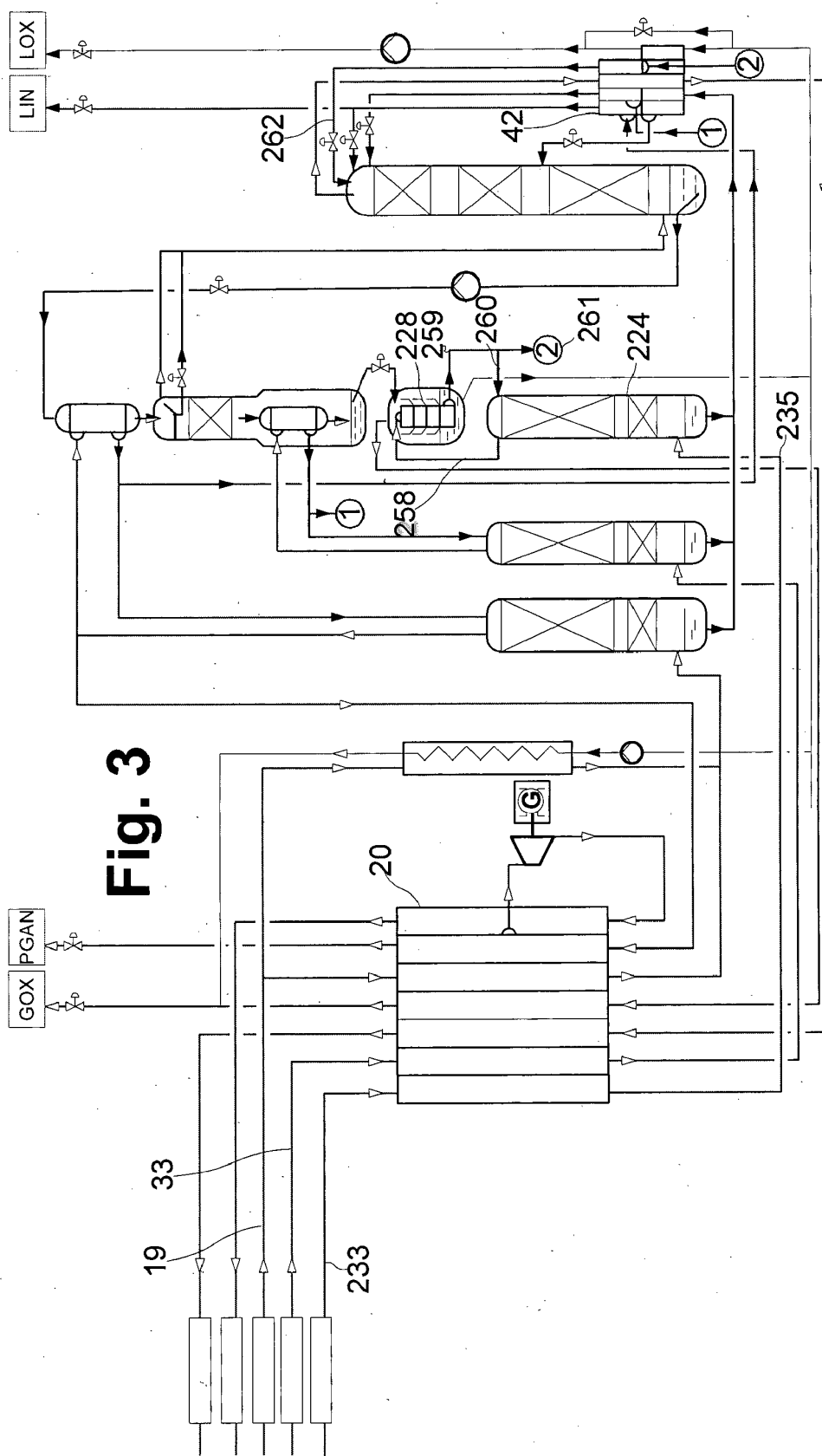


Fig. 2



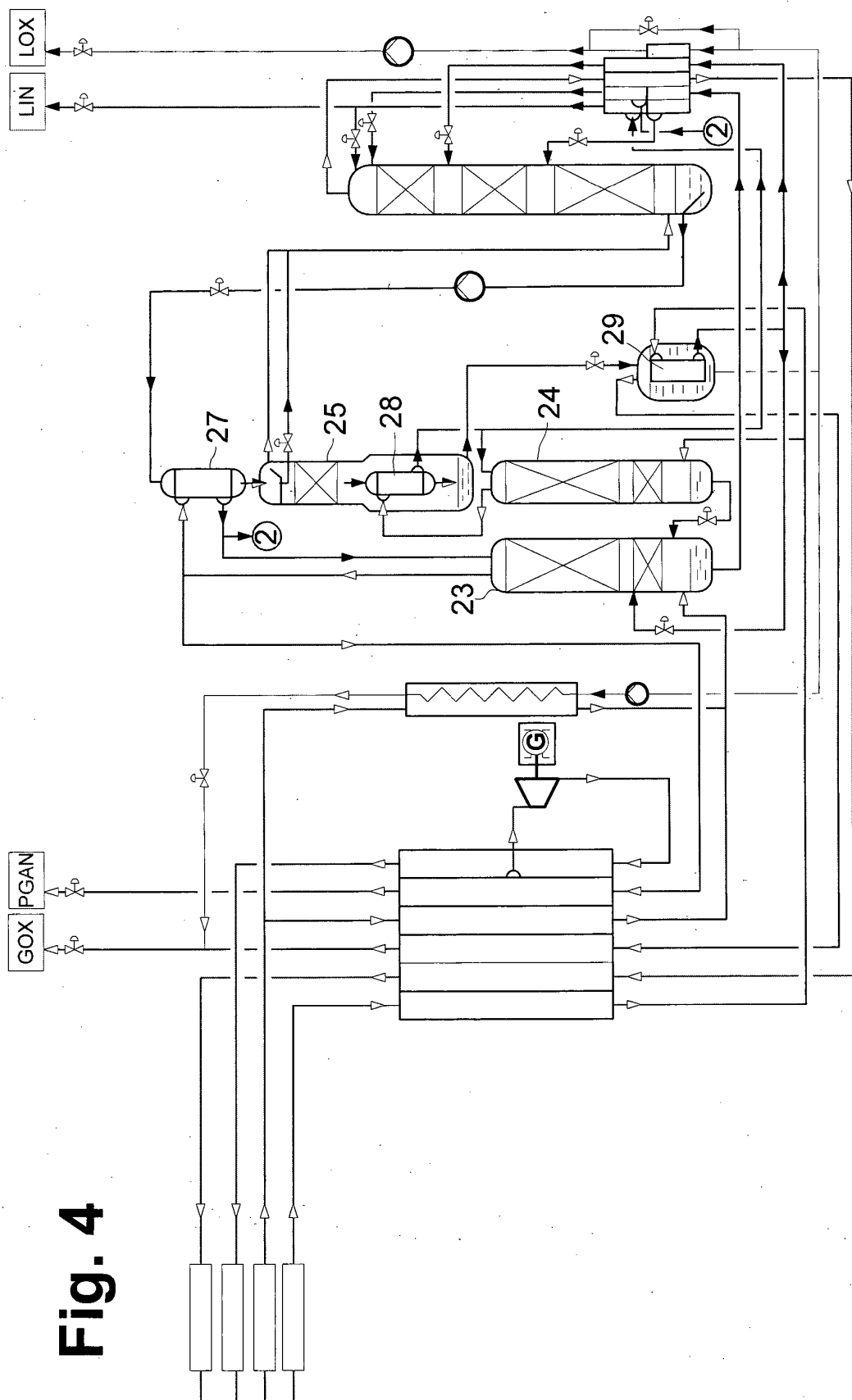


Fig. 4

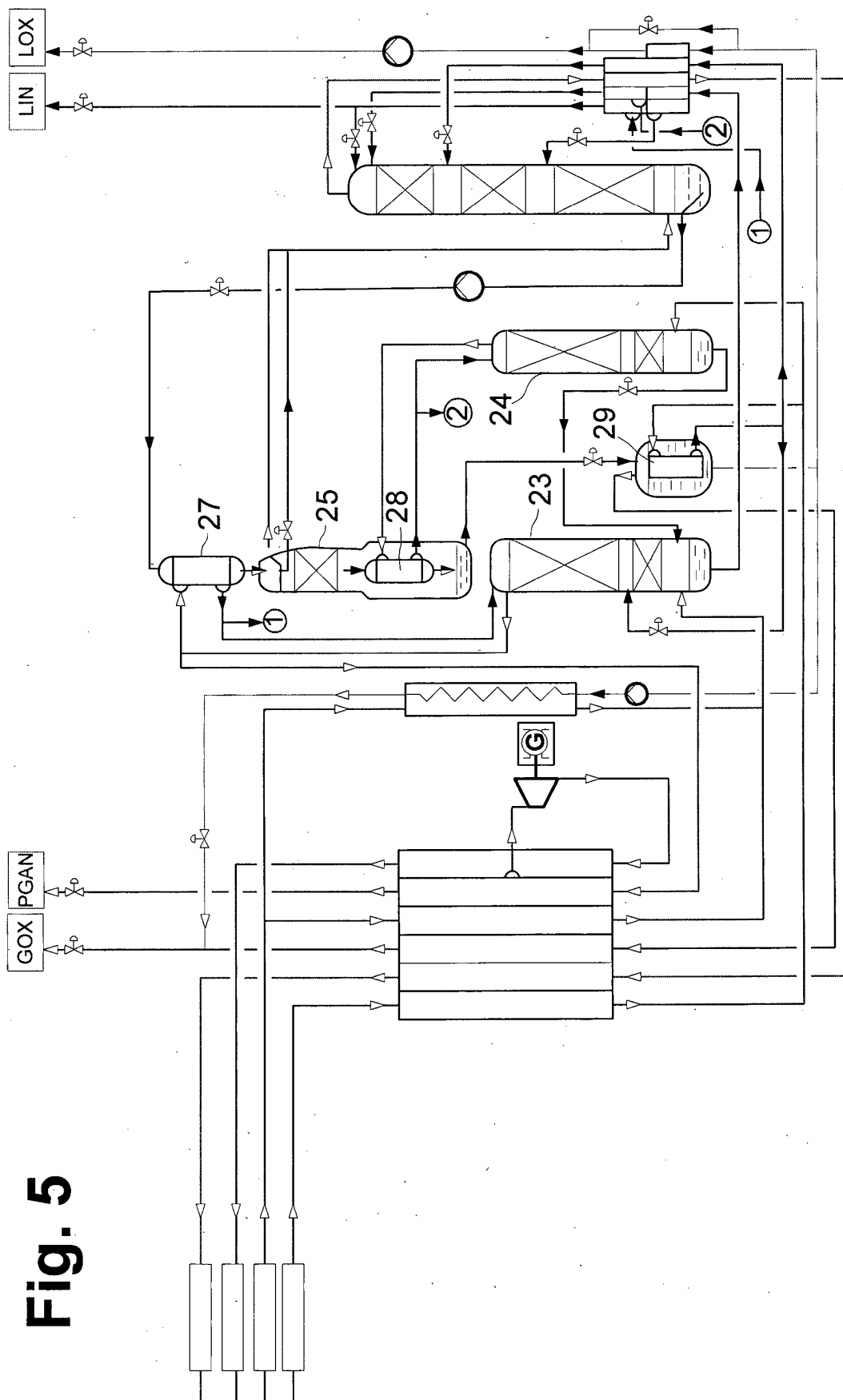


Fig. 5

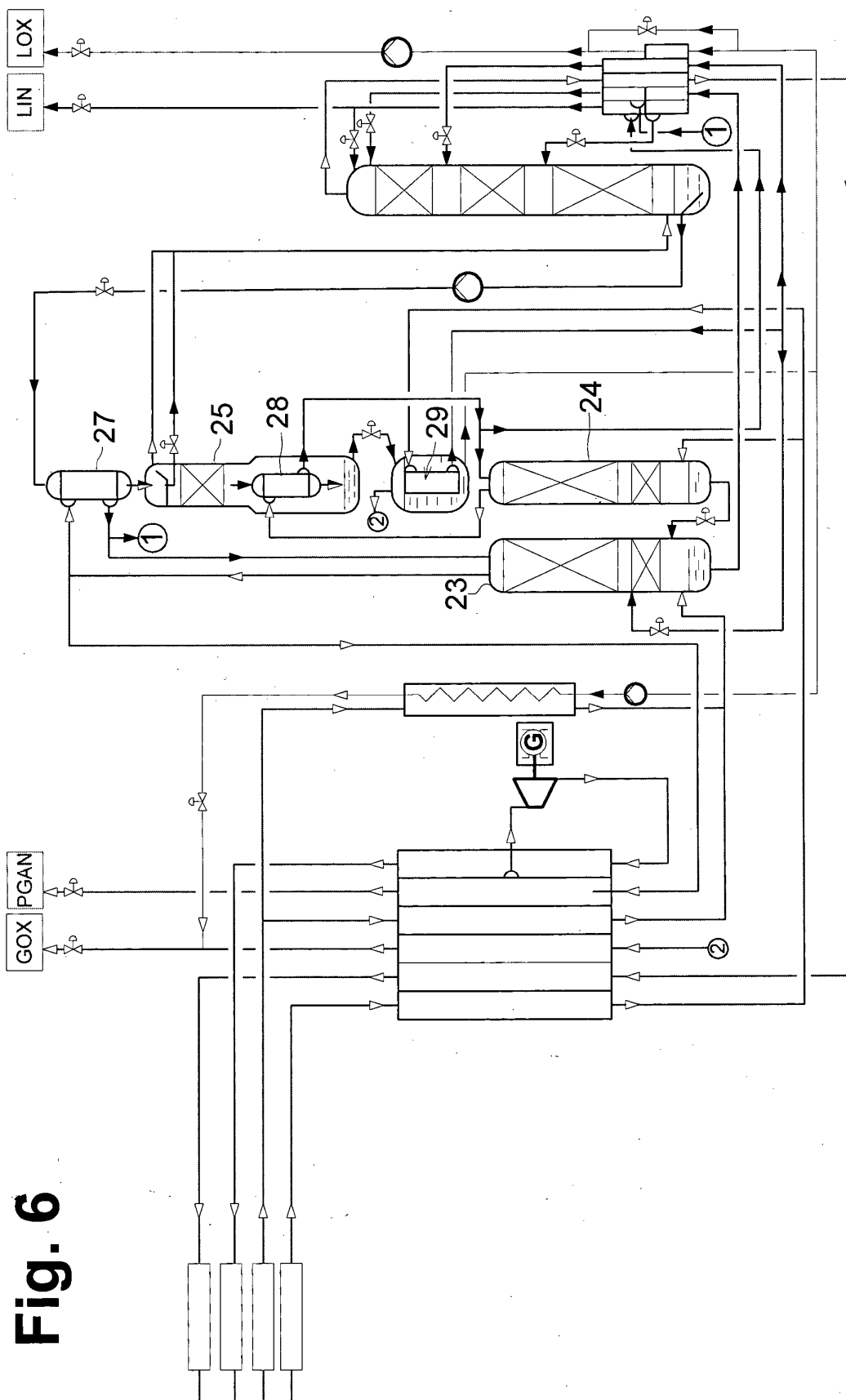


Fig. 6

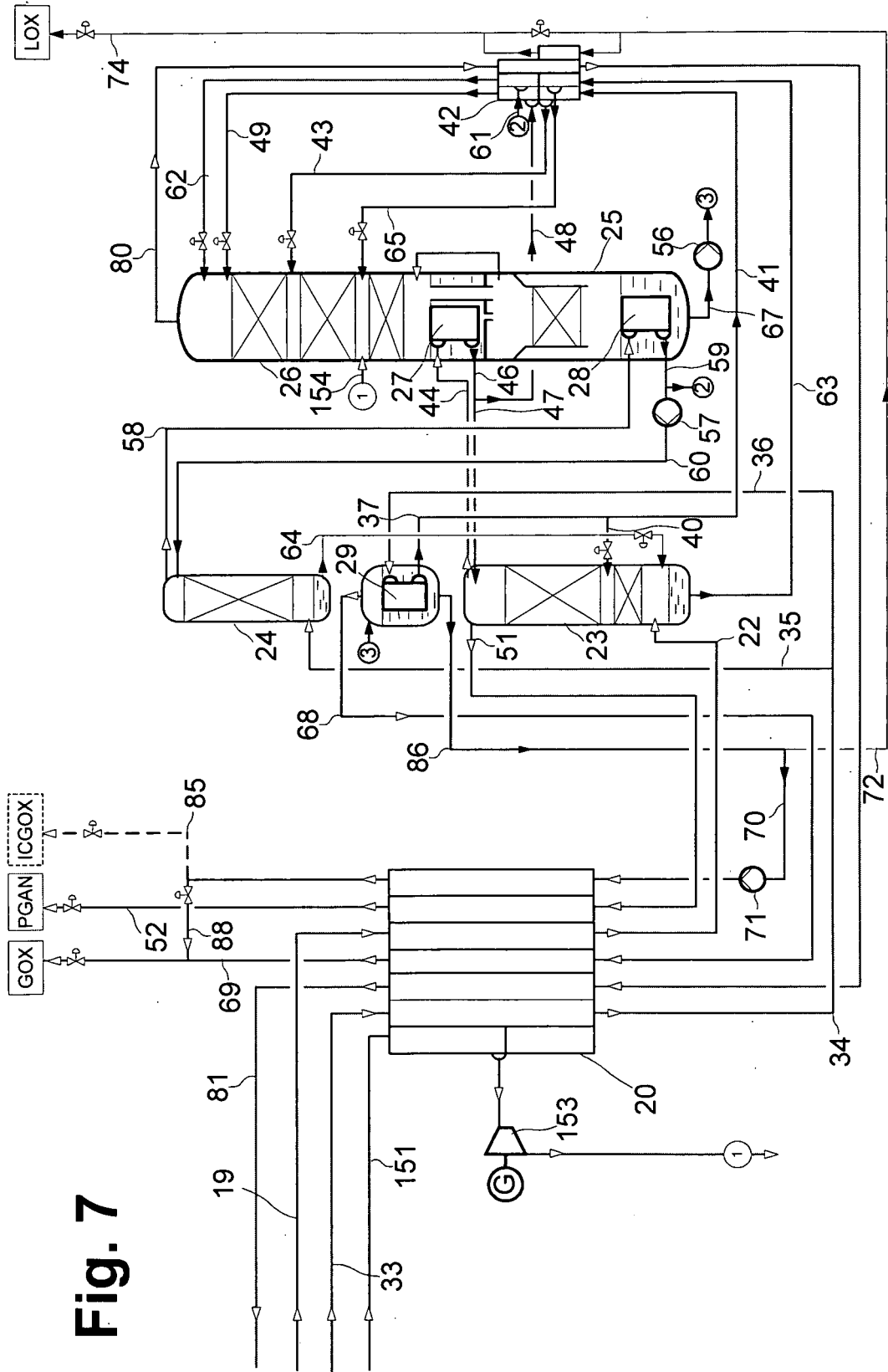


Fig. 7

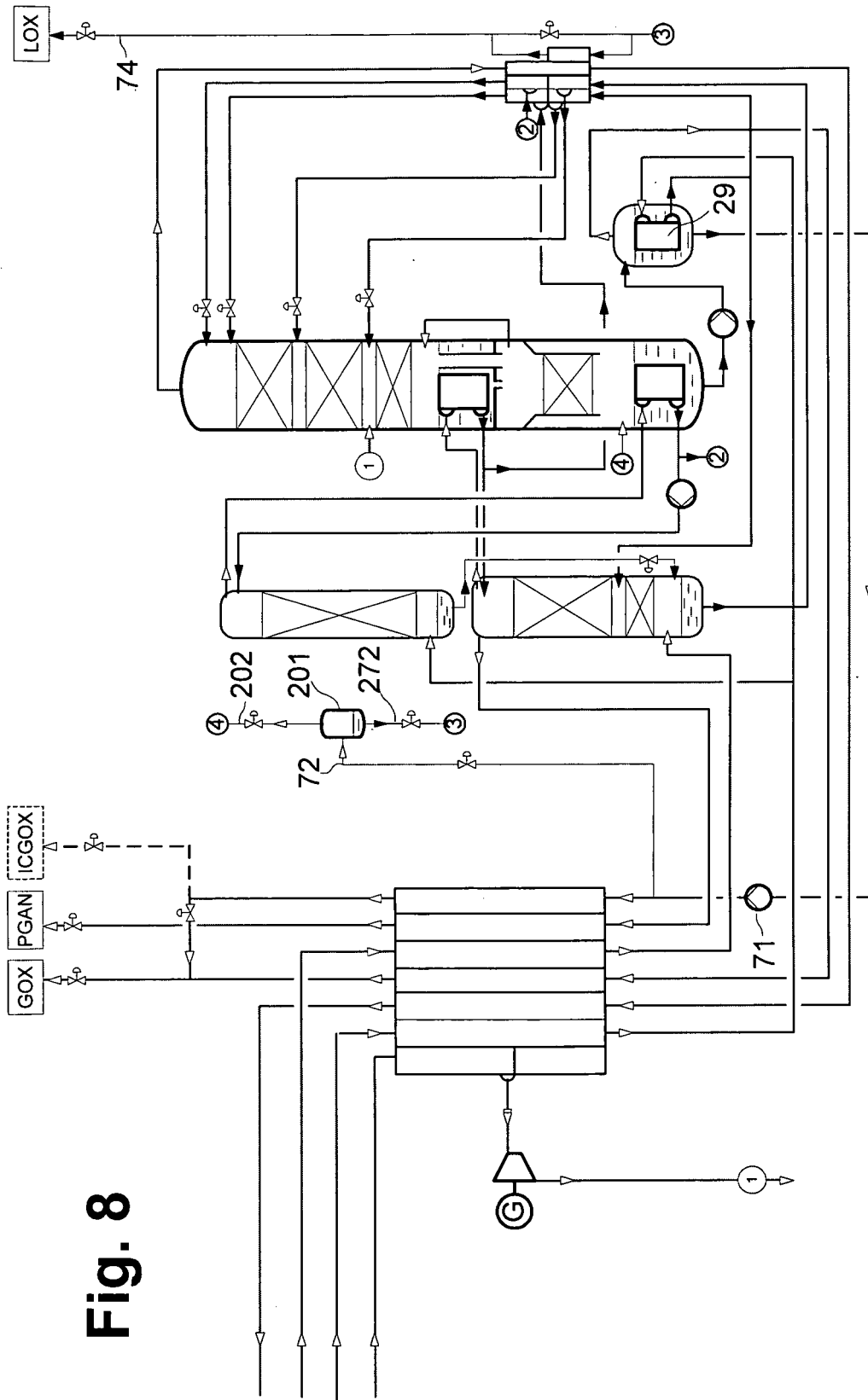


Fig. 8

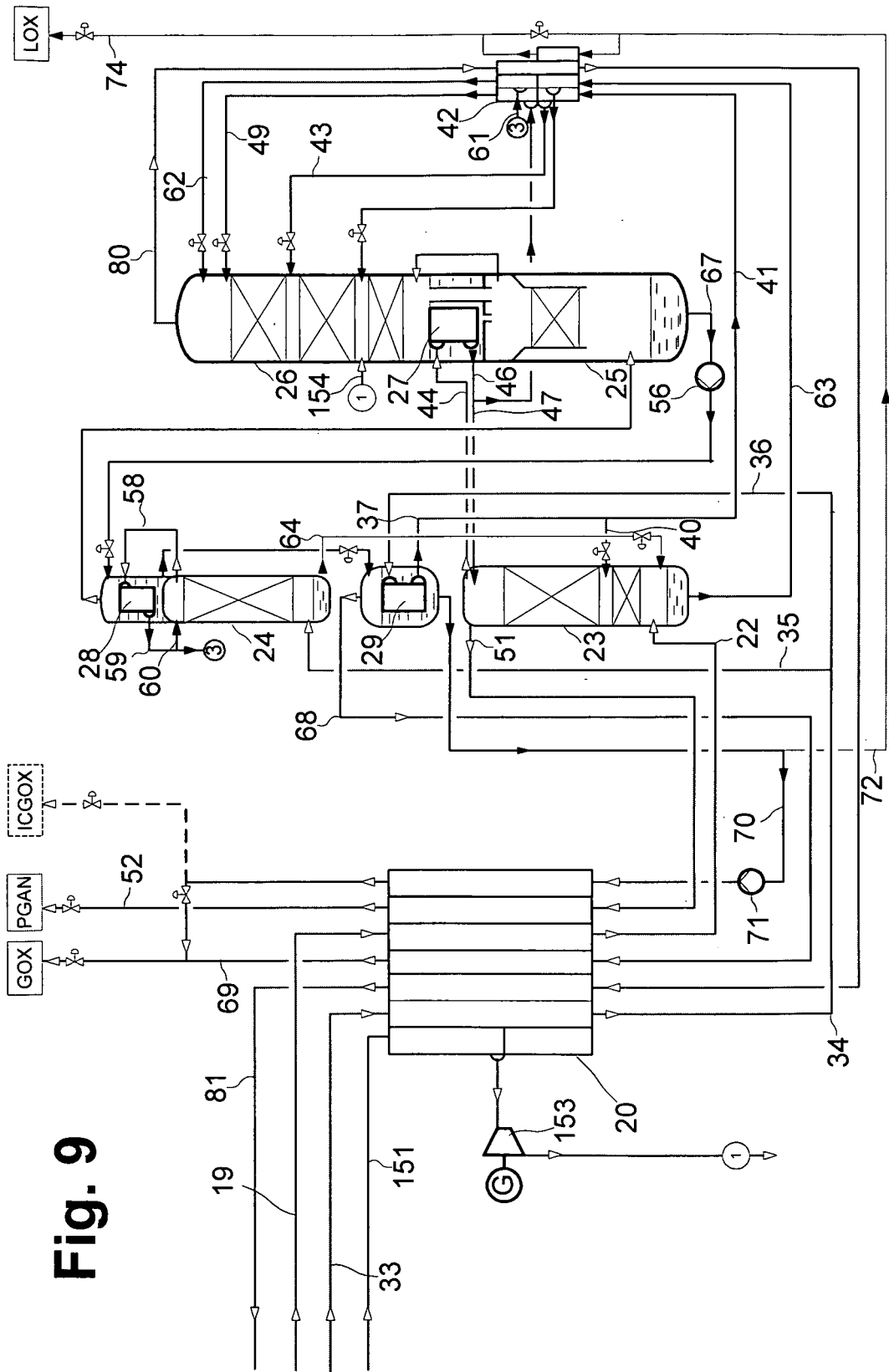


Fig. 9

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 2008115531 A1 [0009] [0022]
- EP 1413840 A1 [0010]
- DE 10009977 [0022]
- EP 342436 A [0039]
- EP 1077356 A1 [0068]
- WO 0192798 A2 [0068]
- US 2005028554 A1 [0068]
- WO 01092799 A1 [0068]
- US 2003159810 A1 [0068]
- WO 03012352 A2 [0068]
- DE 102007003437 A1 [0068]