

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
2. Oktober 2014 (02.10.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/154361 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/000832
- (22) Internationales Anmeldedatum:
27. März 2014 (27.03.2014)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
13001637.1 28. März 2013 (28.03.2013) EP
- (71) Anmelder: LINDE AKTIENGESELLSCHAFT
[DE/DE]; Klosterhofstr. 1, 80331 München (DE).
- (72) Erfinder: GOLOUBEV, Dimitri; Rümmanstr. 17, 80804 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

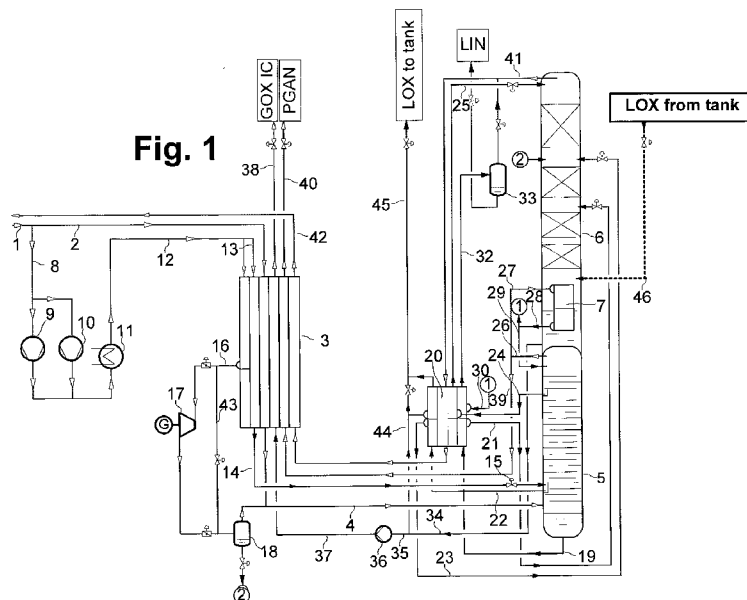
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR PRODUCING GASEOUS COMPRESSED OXYGEN HAVING VARIABLE POWER CONSUMPTION

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ERZEUGUNG VON GASFÖRMIGEM DRUCKSAUERSTOFF MIT VARIABLEM ENERGIEVERBRAUCH



(57) Abstract: The invention relates to a method and to a device for the variable production of compressed oxygen by means of low-temperature separation of air in a distillation column system which comprises a high-pressure column (5) and a low-pressure column (6). Process air in form of a total air stream (1) is cooled in a main heat exchanger (3). At least a part of the cooled process air is fed into the high-pressure column (5). A first oxygen stream (35) from the low-pressure column (6) is brought to an elevated pressure (36) in a liquid state, is vaporized, or pseudo-vaporized, and heated in the main heat exchanger (3), and is finally obtained as a gaseous compressed oxygen product. Prior to entering the main heat exchanger (3), a first and a second partial stream (12) of the process air are brought to a high pressure (9, 10), which is at least 4 bars higher than the operating pressure of the high-pressure column (5). The first partial stream is liquefied, or pseudo-liquefied, in the main heat exchanger (3), and is subsequently introduced into the distillation column system (14). The second partial stream (16) is expanded to perform work (17), and is subsequently

introduced into the distillation column system (4). In a first operating mode, a first total air quantity is cooled in the main heat exchanger (3), and a first turbine amount as first partial stream (16) is fed to the expansion to perform work. In a second operating mode, a second oxygen stream (46) from an external source outside the distillation column system is introduced into the low-pressure column (6) in a liquid state. There is less total air (1) cooled in the main heat exchanger (3), and less air is fed to the expansion (17) to perform work than in the first operating mode.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2014/154361 A2

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Das Verfahren und der Vorrichtung dienen zur variablen Erzeugung von gasförmigem Drucksauerstoff durch Tieftemperaturzerlegung von Luft in einem Destillationssäulen-System, das eine Hochdrucksäule (5) und eine Niederdrucksäule (6) aufweist. Einsatzluft wird in Form eines Gesamtluftstroms (1) in einem Hauptwärmetauscher (3) abgekühlt. Mindestens ein Teil der abgekühlten Einsatzluft wird in die Hochdrucksäule (5) eingeleitet. Ein erster Sauerstoffstrom (35) aus der Niederdrucksäule (6) wird in flüssigem Zustand auf einen erhöhten Druck gebracht (36), im Hauptwärmetauscher (3) verdampft oder pseudo-verdampft und angewärmt und schließlich als gasförmiges Drucksauerstoffprodukt gewonnen. Ein erster und ein zweiter Teilstrom (12) der Einsatzluft werden vor ihrem Eintritt in den Hauptwärmetauscher (3) auf einen hohen Druck gebracht (9, 10), der mindestens 4 bar höher als der Betriebsdruck der Hochdrucksäule (5) ist. Der erste Teilstrom wird in dem Hauptwärmetauscher (3) verflüssigt oder pseudo-verflüssigt und anschließend in das Destillationssäulen-System eingeleitet (14). Der zweite Teilstrom (16) wird arbeitsleistend entspannt (17) und anschließend in das Destillationssäulen-System eingeleitet (4). In einer ersten Betriebsweise wird eine erste Gesamtluftmenge im Hauptwärmetauscher (3) abgekühlt und eine erste Turbinenmenge wird als erster Teilstrom (16) der arbeitsleistenden Entspannung zugeführt. In einer zweiten Betriebsweise wird ein zweiter Sauerstoffstrom (46) aus einer externen Quelle außerhalb des Destillationssäulen-Systems in flüssigem Zustand in die Niederdrucksäule (6) eingeführt, weniger Gesamtluft (1) im Hauptwärmetauscher (3) abgekühlt weniger Luft der arbeitsleistenden Entspannung (17) zugeführt als in der ersten Betriebsweise.

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung von gasförmigem Drucksauerstoff mit variablem Energieverbrauch

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur variablen Erzeugung von gasförmigem
5 Drucksauerstoff mit variablem Energieverbrauch gemäß dem Oberbegriff des
Patentanspruchs 1.

Verfahren und Vorrichtungen zur Tieftemperaturzerlegung von Luft sind zum Beispiel
aus Hausen/Linde, Tieftemperaturtechnik, 2. Auflage 1985, Kapitel 4 (Seiten 281 bis
10 337) bekannt.

Das Destillationssäulen-System kann als Zwei-Säulen-System (zum Beispiel als
klassisches Linde-Doppelsäulensystem) ausgebildet sein, oder auch als Drei- oder
Mehr-Säulen-System. Es kann zusätzlich zu den Kolonnen zur Stickstoff-Sauerstoff-
15 Trennung weitere Vorrichtungen zur Gewinnung hoch reiner Produkte und/oder
anderer Luftkomponenten, insbesondere von Edelgasen aufweisen, beispielsweise
eine Argongewinnung und/oder eine Krypton-Xenon-Gewinnung.

Bei dem Prozess wird ein flüssig auf Druck gebrachter Sauerstoff-Produktstrom gegen
20 einen Wärmeträger verdampft und schließlich als gasförmiges Druckprodukt
gewonnen. Diese Methode wird auch als Innenverdichtung bezeichnet. Sie dient zur
Gewinnung von Drucksauerstoff. Für den Fall eines überkritischen Drucks findet kein
Phasenübergang im eigentlichen Sinne statt, der Produktstrom wird dann "pseudo-
verdampft".

25 Gegen den (pseudo-)verdampfenden Produktstrom wird ein unter hohem Druck
stehender Wärmeträger verflüssigt (beziehungsweise pseudo-verflüssigt, wenn er
unter überkritischem Druck steht). Der Wärmeträger wird häufig durch einen Teil der
Luft gebildet, im vorliegenden Fall von dem "zweiten Teilstrom" der verdichteten
30 Einsatzluft; gelegentlich wird dieser Strom auch Drosselstrom genannt, obwohl er
anstelle eines Drosselventils auch in einer Flüssigturbine (DFE = "dense fluid
expander") entspannt werden kann.

Innenverdichtungsverfahren sind zum Beispiel bekannt aus DE 830805, DE 901542 (= US 2712738/US 2784572), DE 952908, DE 1103363 (= US 3083544), DE 1112997 (= US 3214925), DE 1124529, DE 1117616 (= US 3280574), DE 1226616 (= US 3216206), DE 1229561 (= US 3222878), DE 1199293, DE 1187248
5 (= US 3371496), DE 1235347, DE 1258882 (= US 3426543), DE 1263037 (= US 3401531), DE 1501722 (= US 3416323), DE 1501723 (= US 3500651), DE 253132 (= US 4279631), DE 2646690, EP 93448 B1 (= US 4555256), EP 384483 B1 (= US 5036672), EP 505812 B1 (= US 5263328), EP 716280 B1 (= US 5644934), EP 842385 B1 (= US 5953937), EP 758733 B1 (= US 5845517), EP 895045 B1
10 (= US 6038885), DE 19803437 A1, EP 949471 B1 (= US 6185960 B1), EP 955509 A1 (= US 6196022 B1), EP 1031804 A1 (= US 6314755), DE 19909744 A1, EP 1067345 A1 (= US 6336345), EP 1074805 A1 (= US 6332337), DE 19954593 A1, EP 1134525 A1 (= US 6477860), DE 10013073 A1, EP 1139046 A1, EP 1146301 A1, EP 1150082 A1, EP 1213552 A1, DE 10115258 A1, EP 1284404 A1 (= US 2003051504 A1),
15 EP 1308680 A1 (= US 6612129 B2), DE 10213212 A1, DE 10213211 A1, EP 1357342 A1 oder DE 10238282 A1, DE 10302389 A1, DE 10334559 A1, DE 10334560 A1, DE 10332863 A1, EP 1544559 A1, EP 1585926 A1, DE 102005029274 A1, EP 1666824 A1, EP 1672301 A1, DE 102005028012 A1, WO 2007033838 A1, WO 2007104449 A1, EP 1845324 A1, DE 102006032731 A1, EP 1892490 A1, DE 102007014643 A1, A1,
20 EP 2015012 A2, EP 2015013 A2, EP 2026024 A1, WO 2009095188 A2 oder DE 102008016355 A1.

Vielfach zwingt ein schwankender Sauerstoffbedarf dazu, eine Luftzerlegungsanlage auf variablen Betrieb mit variabler Sauerstoffproduktion auszulegen. Umgekehrt kann
25 es sinnvoll sein, eine Luftzerlegungsanlage trotz konstanter oder im Wesentlichen konstanter Produktion variabel zu betreiben, indem verschiedene Betriebsweisen vorgesehen sind, die unterschiedlich hohen Energieverbrauch aufweisen.

Gegeben durch unterschiedliche Faktoren (nicht zuletzt durch immer größer
30 werdenden Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung) werden die Stromtarif-Schwankungen im Bereich Industrieanlagen immer größer. Beeinflusst von den gewissen Saisonschwankungen, wird die Schwankungsbreite des Stromtarifs auch durch den Tag-Nacht-Zyklus bestimmt.

Bei niedrigem Strombedarf im Netz (zum Beispiel in der Nacht) kann einen Überschuss an Strom vorliegen. Dieser Überschuss soll aber abgenommen werden und wird daher für einen niedrigeren Preis angeboten. Steigt der Strombedarf im Netz (zum Beispiel tagsüber), steigt auch der Strompreis. Je nach Region und speziellen

5 Rahmenbedingungen können die Strompreise an einem Ort um den Faktor fünf oder auch stärker variieren.

Es besteht also ein Bedarf, Luftzerlegungsanlagen mit einer schnellen und effizienten Lastanpassung auszustatten. Das kurzzeitige Abstellen solcher Anlage ist regelmäßig
10 aufgrund einer stets aufrechtzuerhaltenden Lieferung an gasförmigem Drucksauerstoff nicht möglich.

Bereits seit über 30 Jahren ist es bekannt, Wechselspeicherverfahren einzusetzen, um ein schwankendes Energieangebot zu kompensieren (Springmann,
15 "Energieeinsparung", Linde-Symposium "Luftzerlegungsanlagen", 4. Arbeitstagung der Linde AG vom 15.-17.10.1980, Artikel H). Diese benötigen jedoch einen relativ hohen apparativen und regelungstechnischen Aufwand. Außerdem ist aus US 7272954 bekannt, bei hohem Strompreis, tiefkalte Flüssigkeit in das Destillationssäulen-System einzuleiten und die überschüssige Kälte mittels eines Kaltverdichters zu verbrauchen;
20 auch hier wird allerdings zusätzlicher apparativen Aufwand notwendig.

Ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 ist aus EP 793070 A2 bekannt.

25 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art und eine entsprechende Vorrichtung anzugeben, die einen vergleichsweise niedrigen apparativen Aufwand erfordern, trotzdem einen in einem besonders weiten Bereich variablen Betrieb der Anlage hinsichtlich ihres Energieverbrauchs ermöglichen und dabei besonders effizient arbeiten.

30

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Patentanspruchs 1 gelöst.

Bei geringem Energieangebot und hohem Strompreis wird die Anlage in der zweiten
35 Betriebsweise gefahren. Dabei wird durch die Einspeisung von flüssigem Sauerstoff

- sowohl Kälte in die Anlage eingebracht als auch bereits geleistete Trennarbeit. Der Sauerstoff, der von außen zugeführt wird, braucht nicht mehr in der Anlage erzeugt zu werden. Entsprechend kann die Gesamtluftmenge, die in die Anlage eingeführt wird, vermindert werden. Verringert werden kann auch die Kälteproduktion, im Extremfall auf
- 5 Null. Der Turbinenstrom (zweiter Teilstrom) wird also verringert oder sogar ganz abgeschaltet. Dabei bleibt die Menge an gasförmigem Drucksauerstoffprodukt gleich oder im Wesentlichen gleich. Unter "im Wesentlichen gleich" wird hier eine Veränderung um weniger als 3 %, vorzugsweise weniger als 2 % verstanden.
- 10 Bei der Erfindung werden zwei parallelgeschaltete Nachverdichter (auch BAC genannt - "booster air compressor") für den zweiten und den dritten Teilstrom der Luft eingesetzt; anders ausgedrückt ist der entsprechende Nachverdichter zweisträngig ausgebildet. Dies bewirkt eine besondere große Bandbreite, in der die Gesamtmenge der Einsatzluft und damit der Energieverbrauch der Anlage variiert werden kann.
- 15 Gegenüber einer ersten Betriebsweise, die als Designfall mit hoher Flüssigproduktion ausgestaltet ist, der Energieverbrauch in einer zweiten Betriebsweise auf 50 % reduziert werden, in dem einer der beiden Nachverdichter abgeschaltet und der andere in Unterlast (etwa 0 % betrieben wird. Der Hauptluftverdichter, in dem der Gesamtluftstrom zunächst verdichtet wird, kann dabei ebenfalls mehrsträngig oder
- 20 gegebenenfalls einsträngig ausgebildet sein. Die beiden Nachverdichter weisen beispielsweise 2 bis 5 Stufen auf, insbesondere 3 bis 4 Stufen. Selbstverständlich können bei der Erfindung auch drei oder mehr parallelgeschaltete Nachverdichter für den zweiten und den dritten Teilstrom der Luft eingesetzt werden; der Nachverdichter ist dann drei- oder mehrsträngig ausgebildet. Stromaufwärts oder stromabwärts des
- 25 mehrsträngigen Nachverdichters können weitere Nachverdichter eingesetzt werden, die den zweiten und dritten Teilstrom einzeln oder gemeinsam verdichten.
- Im Rahmen der Erfindung können der erste Druck (erster Teilstrom, so genannter Drosselstrom) und der zweite hohe Druck (zweiter Teilstrom, so genannter
- 30 Turbinenstrom) gleich oder unterschiedlich sein. Es kann auch die Gesamtluft auf den ersten oder zweiten hohen Druck verdichtet werden; alternativ wird die Gesamtluft auf einen niedrigeren Druck verdichtet, beispielsweise auf den Hochdrucksäulendruck plus Leitungsverlusten, und der erste und/oder der zweite Teilstrom der Luft werden nachverdichtet. Der zweite Teilstrom wird nach seiner arbeitsleistenden Entspannung

in der Regel mindestens teilweise, vorzugsweise vollständig oder im Wesentlichen vollständig in die Hochdrucksäule eingeführt.

5 Unter dem "Gesamtluftstrom" wird hier die Menge an Luft verstanden, die im Endeffekt in das Destillationssäulen-System eingeleitet wird. Das geschieht auf unterschiedlichen Wegen, in Form von zwei, drei oder mehr Teilströmen, die den Hauptwärmetauscher auf mindestens einem Teilstück durchströmen.

10 Der in der zweiten Betriebsweise einzuspeisende Flüssigsauerstoff (zweiter Sauerstoffstrom) kann während der ersten Betriebsweise in der Anlage selbst produziert werden ("dritter Sauerstoffstrom" des Patentanspruchs 3); die "externe Quelle außerhalb des Destillationssäulen-Systems" wird dann von einem Flüssigsauerstofftank gebildet, in den während des Normalbetriebs mindestens ein Teil des dritten Sauerstoffstroms eingeleitet wird. Alternativ kann der zweite
15 Sauerstoffstrom vollständig, teilweise oder zeitweise aus einer anderen Quelle entnommen werden, beispielsweise aus einem Flüssigtank, der nicht aus dem Destillationssäulen-System der Anlage, sondern aus dem einer benachbarten Luftzerlegungsanlage oder aus Tankfahrzeugen befüllt wird.

20 Im Normalbetrieb der Anlage können in dem Destillationssäulen-System neben dem Flüssigsauerstoff weitere Flüssigprodukte wie Flüssigstickstoff und/oder Flüssigargon erzeugt werden.

25 Es ist günstig, wenn bei der Erfindung mindestens eine, vorzugsweise alle der in Patentanspruch 2 genannten Bedingungen erfüllt sind. Bevorzugt werden die Ströme in der zweiten Betriebsweise (Betrieb bei reduziertem Energieangebot) relativ zur ersten Betriebsweise (Normalbetrieb mit Flüssigproduktion) um einen Wert reduziert, der in den folgenden Zahlenbereichen liegt:

30 Gesamtluftmenge 5 mol-% bis 30 mol-%
Turbinenmenge (Turbinenstrom) 10 mol-% bis 100 mol-%

Regelmäßig wird in der zweiten Betriebsweise kein Flüssigprodukt erzeugt, beziehungsweise, falls eine Argongewinnung vorgesehen ist, kein Flüssigprodukt
35 außer Argon.

Eine besonders wirksame Anpassung an ein schwankendes Energieangebot lässt sich bei einem Verfahren nach Patentanspruch 3 erreichen, bei dem in der ersten Betriebsweise (im Normalbetrieb) ein dritter Sauerstoffstrom aus der Niederdrucksäule als Flüssigprodukt abgezogen wird. In der zweiten Betriebsweise (Stromsparbetrieb) wird weniger Sauerstoff als Flüssigprodukt gewonnen, vorzugsweise überhaupt keiner. Die zweite Flüssigsauerstoffmenge (an LOX-Produkt) ist vorzugsweise um 50 mol-% bis 100 mol-% niedriger als die erste Flüssigsauerstoffmenge.

10 In der zweiten Betriebsweise wird vorzugsweise keiner der Prozessströme des Destillationssäulen-Systems einer Kaltverdichtung unterzogen. Insbesondere werden in der zweiten Betriebsweise keinerlei rotierenden Maschinen eingesetzt, die nicht auch in der ersten Betriebsweise genutzt werden. Der Hardware-Aufwand für den variablen Betrieb ist damit denkbar gering.

15 Unter "Kaltverdichtung" wird hier ein Gasverdichtungsverfahren verstanden, bei dem das Gas der Verdichtung bei einer Temperatur zugeführt wird, die deutlich unterhalb der Umgebungstemperatur liegt, insbesondere unterhalb von 240 K.

20 Dadurch kann das erfindungsgemäße Verfahren besonders effizient durchgeführt werden. Die gesamte Kälte, die über die Flüssigkeitszuspeisung zugeführt wird, kann genutzt werden, um die Turbinenluftmenge zu reduzieren. Indem entsprechend weniger Luft nachverdichtet werden muss oder indem - bei Verfahren mit Verdichtung der Gesamtluft auf einen hohen Druck - die Gesamtluft auf einen deutlich niedrigeren Druck verdichtet wird.

Vorzugsweise wird in der zweiten Betriebsweise die arbeitsleistende Entspannung des zweiten Teilstroms gänzlich eingestellt, das heißt die zweite Turbinenmenge ist null.

30 Die beiden Nachverdichter können jeweils einen separaten Nachkühler aufweisen; alternativ wird ihre Kompressionswärme in einem gemeinsamen Nachkühler entfernt.

Grundsätzlich kann der Gesamtluftstrom nur aus dem ersten Teilstrom (Turbinenstrom) und dem zweiten Teilstrom (Drosselstrom) bestehen. Der Gesamtluftstrom kann auch weitere Luftteilströme umfassen, darunter einen ersten Teil (Direktluft), der ohne Turbinenentspannung und in im Wesentlichen gasförmigem Zustand in das
5 Destillationssäulen-System, insbesondere in die Hochdrucksäule eingespeist wird. Als "im Wesentlichen gasförmig" wird hier ein Strom bezeichnet, der vollständig gasförmig ist oder weniger als 1-2 mol-% Flüssigkeit enthält. Vorzugsweise wird der Gesamtluftstrom in genau drei Luftströme aufgeteilt, wie es im Patentanspruch 7 beschrieben ist.

10

Die Erfindung betrifft außerdem eine Vorrichtung gemäß Patentanspruch 8. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann durch Vorrichtungsmerkmale ergänzt werden, die den Merkmalen der abhängigen Verfahrensansprüche entsprechen.

15 Die erfindungsgemäße variable Betriebsweise kann nicht nur auf Anlagen angewendet werden, die von Vorneherein auf einen solchen variablen Betrieb ausgelegt sind. Vielmehr betrifft die Erfindung außerdem ein Verfahren zum Nachrüsten einer bestehenden Tieftemperatur-Luftzerlegungsanlage gemäß den Patentansprüchen 9 bis
11.

20

Dabei muss kaum in die Hardware des bestehenden Destillationssäulen-Systems eingegriffen werden. Fehlt eine Leitung zum Einspeisen von Flüssigsauerstoff in die Niederdrucksäule, muss diese natürlich nachgerüstet werden. Unter Umständen kann auch eine vorhandene Leitung genutzt werden; dann müssen lediglich Armaturen und
25 gegebenenfalls eine Pumpe ergänzt werden. Im Übrigen ist es mit einer Anpassung der Regelung getan, das heißt der Software des Betriebsleitsystems. Insbesondere müssen keinerlei rotierende Maschinen nachgerüstet werden. Eine Ausnahme kann der zweite Nachverdichter sein, wenn die bestehende Anlage nur einen einsträngigen Nachverdichter aufweist.

30

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

35 Figur 1 ein erstes Ausführungsbeispiel ohne Argongewinnung und

Figur 2 ein zweites Ausführungsbeispiel mit Argongewinnung.

Der Hauptluftverdichter, die Vorkühlung der Luft und die Luftreinigung sind in Figur 1 nicht dargestellt. Der gereinigte Gesamtluft 1 tritt in der ersten Betriebsweise
5 (Normalbetrieb/Auslegungsfall) unter einem Druck von 5,8 bar ein. Ein erster Teil 2 wird unter diesem Druck in einen Hauptwärmetauscher 3 auf etwa Taupunkt abgekühlt und über Leitung 4 in die Hochdrucksäule 5 eines Destillationssäulen-Systems eingeleitet, das außerdem eine Niederdrucksäule 6 und einen Hauptkondensator 7
10 aufweist. Die beiden Säulen weisen an ihrem Kopf einen Betriebsdruck von 5,0 bis 5,5 bar beziehungsweise 1,3 bis 1,4 bar auf. Alternativ können die Drücke in beiden Säulen etwa proportional auf ein höheres Niveau angehoben werden.

Ein zweiter Teil 8 der Gesamtluft 1 wird in einem Paar von parallel geschalteten Nachverdichtern 9, 10 mit Nachkühler 11 auf 58 bar nachverdichtet und als "erster
15 Teilstrom" 13 und "zweiter Teilstrom" 16 dem Hauptwärmetauscher 3 zugeführt. Der erste Teilstrom wird bis zum kalten Ende des Hauptwärmetauschers geführt und dabei pseudo-verflüssigt. Nach Entspannung in einem Drosselventil 15 wird er in überwiegend flüssigem Zustand in die Hochdrucksäule 5 eingeleitet. Der zweite
20 Teilstrom wird bei einer Zwischentemperatur über Leitung 16 aus dem Hauptwärmetauscher 3 entnommen, in einer Expansionsturbine 17 arbeitsleistend auf etwa Hochdrucksäulendruck entspannt. Nach Abtrennung eines kleinen Flüssiganteils in einem Abscheider (Phasentrenner) 18 wird der zweite Teilstrom gemeinsam mit dem ersten Teil der Einsatzluft über Leitung 4 der Hochdrucksäule zugeführt. Die Turbine
25 17 wird von einem elektrischen Generator G gebremst.

Die sauerstoffangereicherte Sumpfflüssigkeit 19 der Hochdrucksäule wird in einem Unterkühlungs-Gegenströmers 20 abgekühlt und über Leitung 21 der Niederdrucksäule
6 an einer Zwischenstelle zugeführt. Über die Leitungen 22 und 23 wird mindestens ein Teil der in die Hochdrucksäule eingespeisten Luft gleich wieder entnommen und nach
30 Unterkühlung 20 der Niederdrucksäule 6 zugespeist. Unreiner Flüssigstickstoff 24 wird ebenfalls unterkühlt (20) und dann über Leitung 25 als Rücklauf auf den Kopf der Niederdrucksäule 6 aufgegeben.

Ein erster Teil 27 des gasförmigen Kopfstickstoffs 26 der Hochdrucksäule 5 wird in
35 dem Hauptkondensator 7 vollständig oder fast vollständig verflüssigt. Der dabei

gewonnene Flüssigstickstoff 28 wird zu einem ersten Teil 29 als Rücklauf auf den Kopf der Hochdrucksäule 5 aufgegeben. Ein zweiter Teil 30, 32 kann nach Unterkühlung 20 und Flashgasabtrennung in einem Abscheider (Phasentrenner) 33 als Flüssigprodukt (LIN) gewonnen werden. Ein zweiter Teil 39 des gasförmigen Kopfstickstoffs 26 der
5 Hochdrucksäule 5 wird im Hauptwärmetauscher angewärmt und über Leitung 40 als gasförmiges Druckstickstoffprodukt (PGAN) gewonnen.

Vom Sumpf der Niederdrucksäule (genauer: aus dem Verdampfungsraum des Hauptkondensators 7) wird flüssiger Sauerstoff 34 abgezogen. Ein erster Teil davon
10 strömt als "erster Sauerstoffstrom" 35 zu einer Pumpe 36 und wird dort in flüssigem Zustand auf einen erhöhten Druck von 30 bar gebracht. Der (in dem Beispiel unterkritische) Sauerstoffstrom 37 wird zum kalten Ende des Hauptwärmetauschers geführt. Im Hauptwärmetauscher 3 wird er verdampft und auf etwa
15 Umgebungstemperatur angewärmt. Über Leitung 38 wird der erste Sauerstoffstrom schließlich als gasförmiges Drucksauerstoffprodukt (GOX IC) gewonnen.

Ein zweiter Teil 44/45 des flüssigen Sauerstoffs 34 wird - gegebenenfalls nach Unterkühlung 20 - über Leitung 45 als "dritter Sauerstoffstrom" abgezogen und als Flüssigprodukt gewonnen. Er wird insbesondere in einen Flüssigsauerstofftank (nicht
20 dargestellt) eingeleitet (LOX to tank).

Eine Leitung 46 dient zur Einspeisung eines "zweiten Sauerstoffstroms" aus dem Flüssigsauerstofftank in den Sumpf der Niederdrucksäule; sie ist in der ersten Betriebsweise jedoch außer Betrieb.
25

Gasförmiger Unreinstickstoff 41 vom Kopf der Niederdrucksäule 6 wird im Unterkühlungs-Gegenströmer 20 und weiter im Hauptwärmetauscher 3 angewärmt und über Leitung 42 in die Atmosphäre abgeblasen oder als Regeneriergas in der nicht
30 dargestellten Einrichtung zur Luftreinigung eingesetzt.

In der ersten Betriebsweise ist die Luftturbine 17 in Betrieb, die Bypass-Leitung 43 wird nicht durchströmt. Ebenso wird über Leitung 45 flüssiger Sauerstoff aus dem Destillationssäulen-System abgezogen. Zusätzlich kann Stickstoff als Flüssigprodukt (LIN) gewonnen werden sowie reiner gasförmiger Stickstoff aus der Niederdrucksäule
35 (nicht dargestellt).

In einer zweiten Betriebsweise (Stromsparbetrieb) wird die Leitung 45 geschlossen, vorzugsweise wird auch kein Flüssigstickstoff (LIN) produziert. Umgekehrt wird über Leitung 46 Flüssigsauerstoff von außerhalb des Destillationssäulen-Systems in die
5 Niederdrucksäule eingespeist. Die Produktmenge an gasförmigem Drucksauerstoff 38/GOX IC bleibt dabei gleich. Die Gesamtluftmenge 1 ist gegenüber der ersten Betriebsweise um etwa 32 mol-% vermindert, der zweite Teil 8/12 sogar um 65 mol-%; vorzugsweise ist einer der beiden Nachverdichter 9, 10 außer Betrieb, der andere wird mit reduzierter Leistung gefahren. Die Turbine 17 steht still, der Bypass 43 ist offen und
10 wird von einem kleinen Strom durchflossen, der die entsprechenden Passagen des Hauptwärmetauschers spült. Der Gesamtluftdruck beträgt nur noch 5,3 bar, der Luftdruck stromabwärts der Nachverdichter 9, 10 nur noch 53 bar. Dabei wird in der zweiten Betriebsweise gleich viel gasförmiges Drucksauerstoffprodukt (GOX IC) unter gleichem Druck geliefert wie in der ersten Betriebsweise. Diese Zahlen gelten für den
15 Fall, dass in der ersten Betriebsweise etwa 25 mol-% des Gesamtsauerstoffprodukts als Flüssigprodukt und etwa 75 mol-% als gasförmiges (innenverdichtetes) Druckprodukt unter ca. 30 bar gewonnen werden. Außerdem wird dabei etwa gleich viel an flüssigem Stickstoff wie an flüssigem Sauerstoff produziert. Hier verstärken sich zwei Effekte und ermöglichen damit eine besonders hohe Verringerung des
20 Energieverbrauchs am Hauptluftverdichter (Gesamtluftmenge) und beim Nachverdichten (erster und zweiter Teilstrom): Zum Einen wird die Gesamtluftmenge verringert, indem flüssiger Sauerstoff von außen eingespeist wird (und damit nicht mehr aus der eingespeisten Luftmenge erzeugt werden muss); zum Anderen verringern die nicht produzierten LOX- und LIN-Produkte den Luft- und Kältebedarf
25 weiter. Bei dem unten dargestellten zweiten Zahlenbeispiel für eine reine Gasanlage werden dagegen nur die Mengenänderungen beschrieben, die alleine durch Einspeisung des externen LOX in der zweiten Betriebsweise hervorgerufen sind.

Im Rahmen der Erfindung kann aus der Anlage zur Erzeugung von Flüssigprodukten
30 (erste Betriebsweise) eine reine Gasanlage (zweite Betriebsweise) gemacht und dabei in Zeiten mit hohen Strompreisen viel Energie gespart werden. Das Verfahren bleibt dabei effizient, da keiner der Verdichter im Bypass betrieben wird und die Verluste bei der Drosselung des Turbinenstromes wegen der kleinen (überwiegend für das Durchspülen von Wärmetauscherpassagen benötigten) Menge und der niedrigen
35 Eintrittstemperatur (diese Temperatur liegt in der zweiten Betriebsweise wesentlich

niedriger als in der ersten) relativ gering sind. Es wird praktisch ein effektiver Betriebsmodus ohne Flüssigproduktion ermöglicht. Zusätzliche Energieeinsparung kommt von der reduzierten Gesamtluftmenge (entsprechend verringerte Antriebsenergie am nicht dargestellten Hauptluftverdichter). Wegen nicht benötigter Kälteleistung wird außerdem Antriebsenergie beim Nachverdichten 9/10 eingespart.

Im Rahmen der Erfindung kann auch eine bestehende Flüssiganlage nach Figur 1, aber ohne Leitung 46 entsprechend nachgerüstet werden. Dazu ist lediglich der Einbau dieser Leitung 46 erforderlich, ansonsten bleiben alle Bauteile gleich.

10

Die Erfindung kann sinngemäß auch bei Verfahren ohne Nachverdichtung genutzt werden, bei denen die Gesamtluft auf deutlich über Hochdrucksäulendruck verdichtet wird (HAP - high air pressure). Unabhängig davon kann die Turbine 17 anstelle des Generators von einem Nachverdichter für Turbinenluft gebremst werden. Auch eine Anwendung der Erfindung auf Verfahren mit so genannter Einblaseturbine (die Luft vom Hauptluftverdichter wird nach Entspannung nicht in die Drucksäule sondern in die Niederdrucksäule geleitet) oder mit mehr als einer Turbine sowie auf solche mit Stickstoffkreislauf ist möglich.

20

Figur 2 unterscheidet sich von Figur 1 lediglich durch eine hinzugefügte Argongewinnung, die hier nur schematisch dargestellt ist (Argon Box). Diese ist auf die übliche Weise mit Hochdrucksäule und Niederdrucksäule verbunden.

In einem ersten Zahlenbeispiel kann die Anlage nach Figur 2 wie bei Figur 1 betrieben werden. Dabei wird in der zweiten Betriebsweise wird eine Menge an flüssigem Argon LAR gewonnen, die proportional zur Gesamtluftmenge reduziert ist.

Ein zweites Zahlenbeispiel weicht hiervon ab, indem (auch) in der ersten Betriebsweise kein Flüssigsauerstoffprodukt gewonnen wird (und vorzugsweise auch kein Flüssigstickstoffprodukt LIN). Auch in diesem Fall ist die Produktmenge an gasförmigem Drucksauerstoff 38/GOX IC in der zweiten Betriebsweise gleich derjenigen in der ersten Betriebsweise. Die Gesamtluftmenge wird gegenüber der ersten Betriebsweise um 10 mol-% vermindert, der zweite Teil 8/12 um 25 mol-%. Dies kann auch mit einem einzigen Nachverdichter (statt der in den Zeichnungen dargestellten zwei parallel geschalteten) bewerkstelligt werden.

Abweichend von der Darstellung in den Zeichnungen kann der Turbinenstrom 16 auch an einem Zwischenabzug der beiden Nachverdichter 9, 10 abgezogen werden, also mit einem geringeren Druck als der Druck als der Drosselstrom 13, der dann vom Austritt 5 der Nachverdichter 9, 10 abgenommen wird. Grundsätzlich kann die Turbine 17 auch mit einer Nachverdichterstufe gebremst werden, die eine der Ströme 13 und 16 oder beide weiter nachverdichtet.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von gasförmigem Drucksauerstoff mit variablem Energieverbrauch durch Tieftemperaturzerlegung von Luft in einem Destillationssäulen-System, das eine Hochdrucksäule (5) und eine
- 5 Niederdrucksäule (6) aufweist, bei dem
- Einsatzluft in Form eines Gesamtluftstroms (1) in einem Hauptwärmetauscher (3) abgekühlt wird,
 - mindestens ein Teil der abgekühlten Einsatzluft in die Hochdrucksäule (5) eingeleitet wird,
 - 10 - ein erster Sauerstoffstrom (35) aus der Niederdrucksäule (6) in flüssigem Zustand auf einen erhöhten Druck gebracht (36) wird,
 - der auf den erhöhten Druck gebrachte erste Sauerstoffstrom (37) im Hauptwärmetauscher (3) verdampft oder pseudo-verdampft und angewärmt wird,
 - 15 - der angewärmte erste Sauerstoffstrom (38) als gasförmiges Drucksauerstoffprodukt gewonnen wird,
 - ein erster Teilstrom (13) der Einsatzluft vor seinem Eintritt in den Hauptwärmetauscher (3) auf einen ersten hohen Druck gebracht (9, 10) wird, der mindestens 4 bar höher als der Betriebsdruck der Hochdrucksäule (5) ist,
 - 20 - der erste Teilstrom unter dem ersten hohen Druck in dem Hauptwärmetauscher (3) verflüssigt oder pseudo-verflüssigt und anschließend in das Destillationssäulen-System eingeleitet (14) wird,
 - ein zweiter Teilstrom (16) der Einsatzluft auf einen zweiten hohen Druck gebracht (9, 10) wird, der mindestens 4 bar höher als der Betriebsdruck der
 - 25 Hochdrucksäule (5) ist,
 - der zweite Teilstrom in dem Hauptwärmetauscher (3) nur auf eine Zwischentemperatur abgekühlt wird,
 - der auf die Zwischentemperatur abgekühlte zweite Teilstrom (16) arbeitsleistend entspannt (17) und anschließend in das Destillationssäulen-System eingeleitet
 - 30 (4) wird,
 - wobei in einer ersten Betriebsweise
 - eine erste Gesamtluftmenge im Hauptwärmetauscher (3) abgekühlt wird,
 - eine erste Turbinenmenge als erster Teilstrom (16) der arbeitsleistenden Entspannung zugeführt wird,

- und wobei in einer zweiten Betriebsweise
 - eine zweite Gesamtluftmenge im Hauptwärmetauscher (3) abgekühlt wird, die geringer ist als die erste Gesamtluftmenge,
 - eine zweite Turbinenmenge als zweiter Teilstrom der arbeitsleistenden
 - 5 Entspannung (17) zugeführt wird, die geringer ist als die erste Turbinenmenge
 - dadurch gekennzeichnet, dass**
 - in der zweiten Betriebsweise ein zweiter Sauerstoffstrom (46) aus einer externen Quelle außerhalb des Destillationssäulen-Systems in flüssigem Zustand in die
 - 10 Niederdrucksäule (6) eingeführt wird und
 - in der ersten Betriebsweise der erste und der zweite Teilstrom (13, 16) gemeinsam (8, 12) in einem Paar parallel geschalteter Nachverdichter (9, 10) nachverdichtet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine der
- 15 folgenden Bedingungen erfüllt ist:
- die zweite Gesamtluftmenge ist mindestens 5 mol-% geringer als die erste Gesamtluftmenge,
- eine zweite Turbinenmenge ist mindestens 10 mol-% geringer, insbesondere mindestens 30 mol-% geringer als die erste Turbinenmenge.
- 20
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass
- in der ersten Betriebsweise ein dritter Sauerstoffstrom aus der Niederdrucksäule im Umfang einer ersten Flüssigsauerstoffmenge als Flüssigprodukt abgezogen wird und
- 25 - in der zweiten Betriebsweise der dritte Sauerstoffstrom im Umfang einer zweiten Flüssigsauerstoffmenge als Flüssigprodukt abgezogen wird, die geringer ist als die erste Flüssigsauerstoffmenge,
- wobei die zweite Flüssigsauerstoffmenge insbesondere um mindestens 50 mol-%, insbesondere um 100 % geringer ist als die erste
- 30 Flüssigsauerstoffmenge.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass in der zweiten Betriebsweise keiner der Prozessströme des Destillationssäulen-Systems einer Kaltverdichtung unterzogen wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Turbinenmenge null ist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Nachverdichter (9, 10) einen gemeinsamen Nachkühler (11) oder jeweils einen Nachkühler aufweisen.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Gesamtluftstrom aus einem ersten Teil (2) und einem zweiten Teil (8) besteht, wobei der zweite Teil (2) aus dem ersten Teilstrom (13) und dem zweiten Teilstrom (16) besteht und insbesondere der erste Teil (2) ohne Turbinenentspannung in im Wesentlichen gasförmigem Zustand in das Destillationssäulen-System, insbesondere in die Hochdrucksäule (5) eingespeist wird.
8. Vorrichtung zur Erzeugung von gasförmigem Drucksauerstoff mit variablem Energieverbrauch durch Tieftemperaturzerlegung von Luft
- mit einem Destillationssäulen-System, das eine Hochdrucksäule (5) und eine Niederdrucksäule (6) aufweist,
 - mit einem Hauptwärmetauscher (3) zum Abkühlen von Einsatzluft in Form eines Gesamtluftstroms (1),
 - mit Mitteln zum Einleiten mindestens eines Teils der abgekühlten Einsatzluft in die Hochdrucksäule (5),
 - mit Mitteln (36), um einen ersten Sauerstoffstrom (35) aus der Niederdrucksäule (6) in flüssigem Zustand auf einen erhöhten Druck zu bringen,
 - mit Mitteln zum Verdampfen oder Pseudo-Verdampfen und Anwärmen des auf den erhöhten Druck gebrachten ersten Sauerstoffstrom (37) im Hauptwärmetauscher (3),
 - mit Mitteln zum Gewinnen des angewärmten ersten Sauerstoffstroms (38) als gasförmiges Drucksauerstoffprodukt,
 - mit Mitteln (9, 10), um einen ersten Teilstrom (13) der Einsatzluft vor seinem Eintritt in den Hauptwärmetauscher (3) auf einen ersten hohen Druck zu bringen, der mindestens 4 bar höher als der Betriebsdruck der Hochdrucksäule (5) ist,

- mit Mitteln zum Verflüssigen oder Pseudo-Verflüssigen des ersten Teilstroms unter dem ersten hohen Druck in dem Hauptwärmetauscher (3) verflüssigt oder pseudo-verflüssigt,
 - 5 - mit Mitteln (14) zum Einleiten des (pseudo-)verflüssigten ersten Teilstroms in das Destillationssäulen-System eingeleitet (14),
 - mit Mitteln (9, 10), um einen zweiten Teilstrom (16) der Einsatzluft auf einen zweiten hohen Druck zu bringen, der mindestens 4 bar höher als der Betriebsdruck der Hochdrucksäule (5) ist,
 - 10 - mit Mitteln zum Entnehmen des zweiten Teilstroms in dem Hauptwärmetauscher (3) bei einer Zwischentemperatur,
 - mit Mitteln (17) zum arbeitsleistenden Entspannen des auf die Zwischentemperatur abgekühlten zweiten Teilstroms (16)
 - mit Mitteln (4) zum Einleiten des arbeitsleistend entspannten ersten Teilstroms in das Destillationssäulen-System eingeleitet (4),
 - 15 **gekennzeichnet durch**
 - Mittel zum Einleiten eines zweiten Sauerstoffstroms (46) in flüssigem Zustand aus einer externen Quelle außerhalb des Destillationssäulen-Systems in die Niederdrucksäule (6) und durch
 - eine Regelvorrichtung, durch die folgende Prozessparameter eingestellt werden:
 - 20 - in einer ersten Betriebsweise
 - eine erste Gesamtluftmenge, die im Hauptwärmetauscher (3) abgekühlt wird,
 - eine erste Turbinenmenge, die als erster Teilstrom (16) der arbeitsleistenden Entspannung zugeführt wird, dass in einer zweiten Betriebsweise
 - und in einer zweiten Betriebsweise
 - 25 - eine zweite Gesamtluftmenge im Hauptwärmetauscher (3) abgekühlt wird, die geringer ist als die erste Gesamtluftmenge,
 - eine zweite Turbinenmenge als erster Teilstrom der arbeitsleistenden Entspannung (17) zugeführt wird, die geringer ist als die erste Turbinenmenge
 - 30 - eine Menge an dem zweiten Sauerstoffstrom, die der Niederdrucksäule (6) in flüssigem Zustand zugeführt wird, die größer ist als die Menge in der ersten Betriebsweise .
9. Verfahren zum Nachrüsten einer Tieftemperatur-Luftzerlegungsanlage für einen
- 35 Betrieb gemäß dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch

gekennzeichnet, dass Mittel zum Einführen des zweiten Sauerstoffstroms in die Niederdrucksäule hinzugefügt werden.

- 5 10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass einem vorhandenen Nachverdichter (9) ein weiterer Nachverdichter (10) parallelgeschaltet wird.
- 10 11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass außer den Mitteln zum Einführen des zweiten Sauerstoffstroms in die Niederdrucksäule und gegebenenfalls dem weiteren Nachverdichter (10) keine oder keine wesentlichen Änderungen an der Vorrichtung vorgenommen werden.

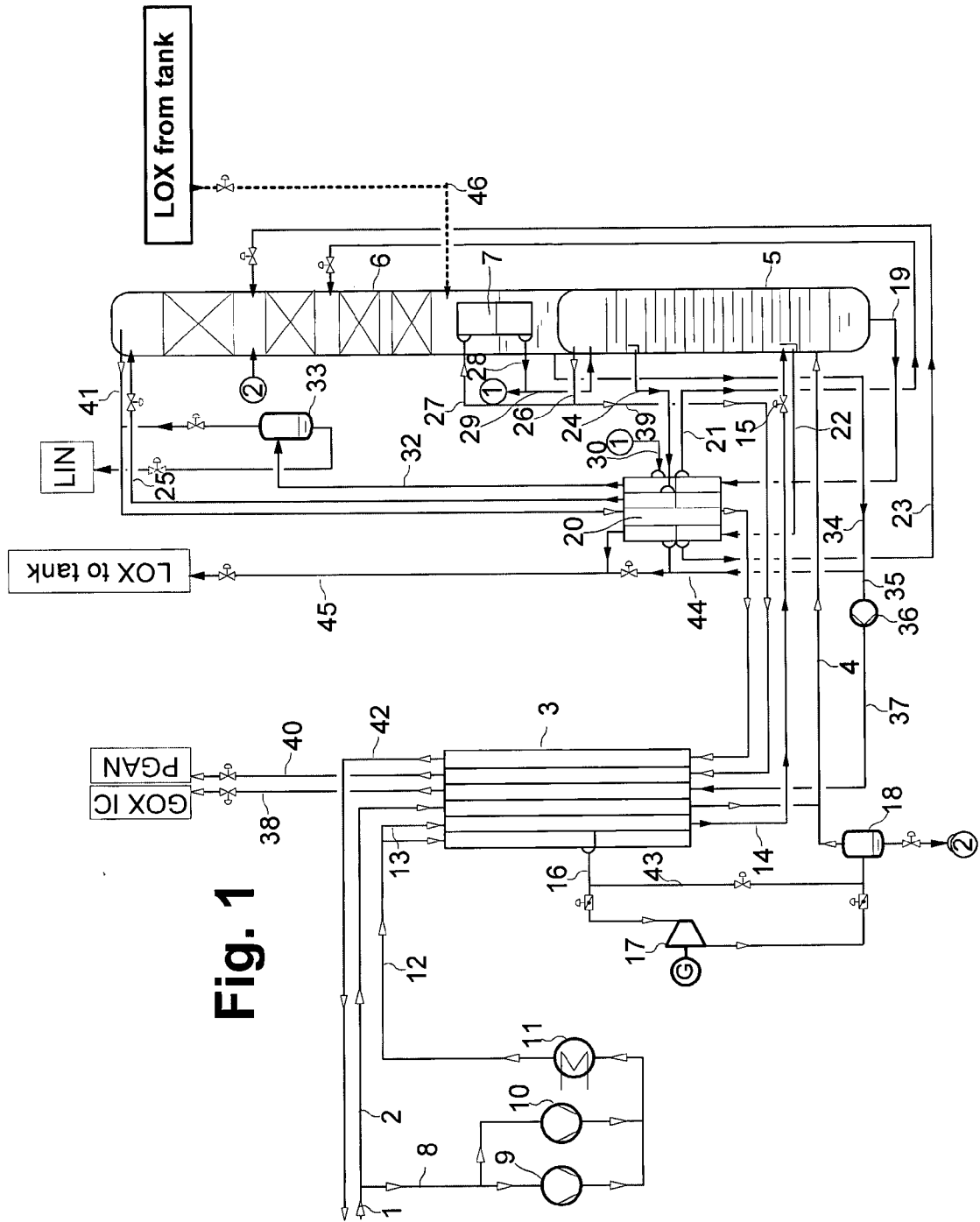


Fig. 1

2/2

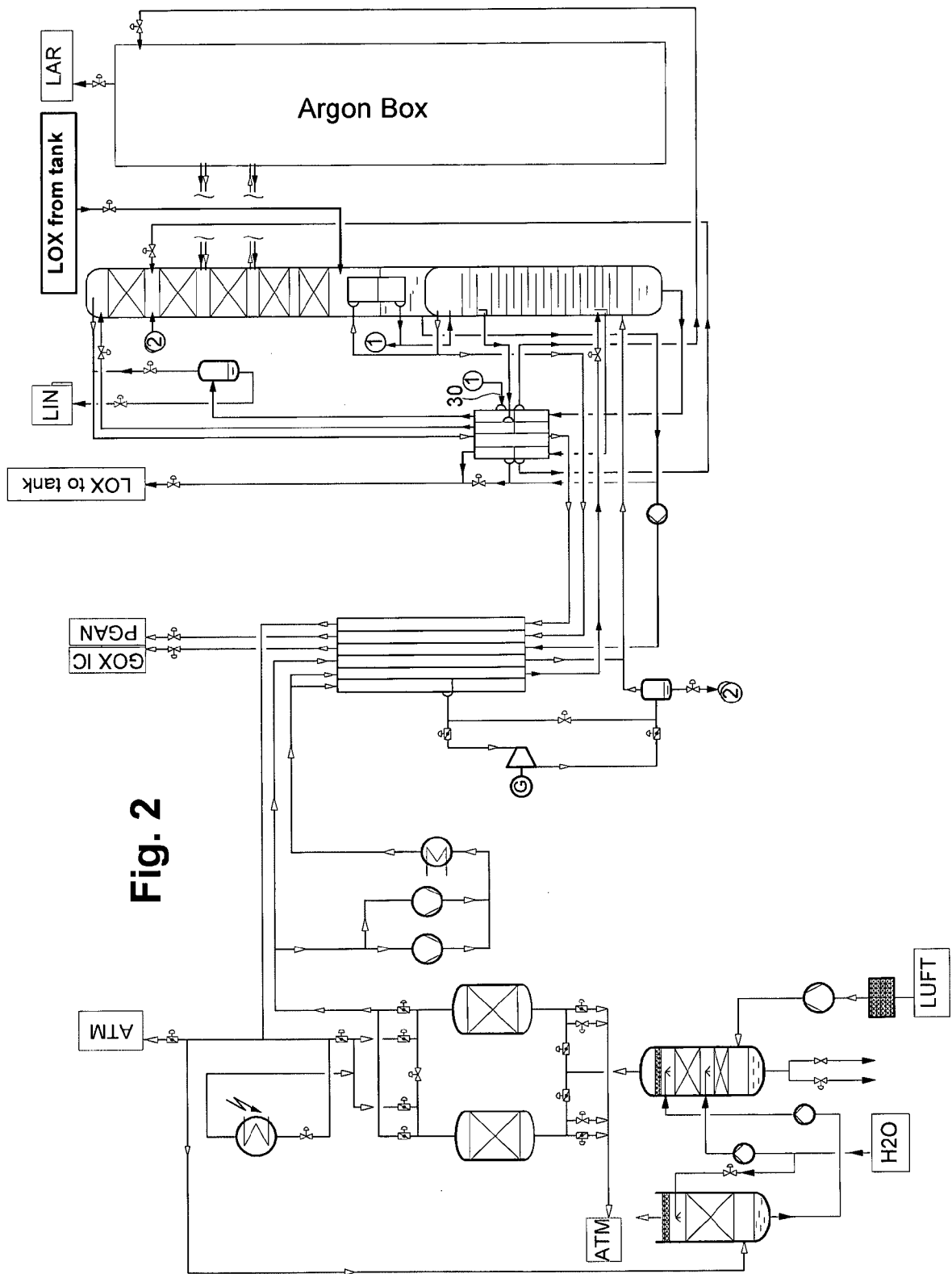


Fig. 2