

(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 2014/154339 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/000769
- (22) Internationales Anmeldedatum:
21. März 2014 (21.03.2014)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
13001545.6 26. März 2013 (26.03.2013) EP
- (71) Anmelder: LINDE AKTIENGESELLSCHAFT
[DE/DE]; Klosterhofstr. 1, 80331 München (DE).
- (72) Erfinder: BÜCHL, Daniel; Engasserbogen 46, 80639 München (DE).
- (74) Anwalt: LINDE AG; Legal Services Intellectual Property, Dr.-Carl-von-Linde-Str. 6-14, 82049 Pullach (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.

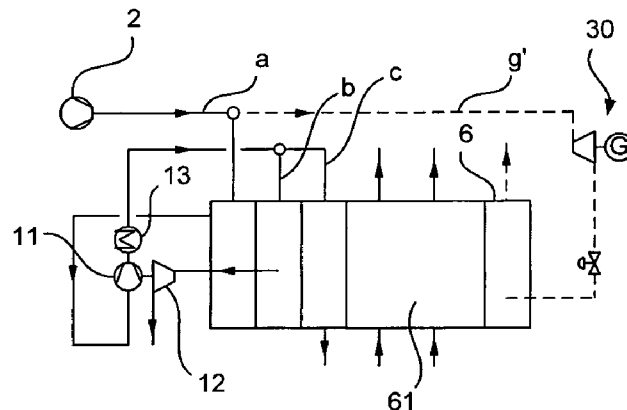
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, 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).

Veröffentlicht:

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

(54) Title: METHOD FOR AIR SEPARATION AND AIR SEPARATION PLANT

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR LUFTZERLEGUNG UND LUFTZERLEGUNGSANLAGE



3A

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for producing air products by means of low-temperature separation of air in a distillation column system (7) of an air separation plant. Said system comprises a high-pressure column (71) and a low-pressure column (72), wherein the overall total amount of air used in the method is compressed in a main compressor (2) to a main compressor pressure, which is at least 4 bars higher than an operating pressure at which the high-pressure column (71) is operated. A first portion of the total air amount compressed to the main compressor pressure is conveyed to the hot side of a main heat exchanger (6), and is cooled therein, is expanded in an expansion machine (12) and fed into the high-pressure column (71). A second portion of the total air amount compressed to the main compressor pressure is cooled in the main heat exchanger (6), is expanded, and is fed into the distillation column system (7). According to the invention the method is carried out in a first and in a second operating mode, subject to a liquid product quantity of at least one air product to be extracted from the air separation plant in a liquid state, wherein a generator turbine (30) is used, in which in the second operating mode a third portion of the total amount of air is expanded and blown into the atmosphere at a quantity that is higher than the quantity in the first operating mode. In the second operating mode, at least one liquid air product of the air separation

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



plant is extracted at a greater liquid product quantity than in the first operating mode. The first portion of the total amount of air is conveyed to the expansion machine (12) at most at a pressure, at which said first portion is conveyed to the hot side of the main heat exchanger (6). The invention further relates to an air separation plant configured for carrying out such a method.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Gewinnung von Luftprodukten durch Tieftemperaturzerlegung von Luft in einem Destillationssäulensystem (7) einer Luftzerlegungsanlage. Dieses weist eine Hochdrucksäule (71) und eine Niederdrucksäule (72) auf, wobei die in dem Verfahren insgesamt eingesetzte Gesamtluftmenge in einem Hauptverdichter (2) auf einen Hauptverdichterdruck verdichtet wird, der zumindest 4 bar höher ist als ein Betriebsdruck, bei dem die Hochdrucksäule (71) betrieben wird, wobei ein erster Anteil der auf den Hauptverdichterdruck verdichteten Gesamtluftmenge einem Hauptwärmetauscher (6) warmseitig zugeführt und in diesem abgekühlt, in einer Entspannungsmaschine (12) entspannt und in die Hochdrucksäule (71) eingespeist wird, und ein zweiter Anteil der auf den Hauptverdichterdruck verdichteten Gesamtluftmenge in dem Hauptwärmetauscher (6) abgekühlt, entspannt und in das Destillationssäulensystem (7) eingespeist wird. Es ist vorgesehen, dass das Verfahren in Abhängigkeit von einer Flüssigproduktmenge zumindest eines der Luftzerlegungsanlage in flüssigem Zustand zu entnehmenden Luftprodukts in einem ersten und in einem zweiten Betriebsmodus durchgeführt wird, wobei eine Generatorturbine (30) verwendet wird, in der ein dritter Anteil der Gesamtluftmenge in dem zweiten Betriebsmodus in einer größeren Menge als in dem ersten Betriebsmodus entspannt und in die Atmosphäre abgeblasen wird, und wobei zumindest ein flüssiges Luftprodukt der Luftzerlegungsanlage in dem zweiten Betriebsmodus in einer größeren Flüssigproduktmenge als in dem ersten Betriebsmodus entnommen wird, und dass der erste Anteil der Gesamtluftmenge der Entspannungsmaschine (12) höchstens mit einem Druck zugeführt wird, bei dem dieser dem Hauptwärmetauscher (6) warmseitig zugeführt wird. Eine Luftzerlegungsanlage, die zur Durchführung eines derartigen Verfahrens eingerichtet ist, ist ebenfalls Gegenstand der Erfindung.

Beschreibung

Verfahren zur Luftzerlegung und Luftzerlegungsanlage

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft und eine zur Durchführung eines derartigen Verfahrens eingerichtete Luftzerlegungsanlage.

5

Stand der Technik

Die Herstellung von Luftprodukten in flüssigem oder gasförmigem Zustand durch Tieftemperaturzerlegung von Luft in Luftzerlegungsanlagen ist bekannt. Derartige
10 Luftzerlegungsanlagen weisen Destillationssäulensysteme auf, die beispielsweise als Zweisäulensysteme, insbesondere als klassische Linde-Doppelsäulensysteme, aber auch als Drei- oder Mehrsäulensysteme ausgebildet sein können. Ferner können Vorrichtungen zur Gewinnung weiterer Luftkomponenten, insbesondere der Edelgase Krypton, Xenon und/oder Argon, vorgesehen sein.

15

Die Destillationssäulensysteme werden bei unterschiedlichen Betriebsdrücken in ihren jeweiligen Trennsäulen betrieben. Die Doppelsäulensysteme weisen dabei eine sogenannte Hochdrucksäule und eine sogenannte Niederdrucksäule auf. Der Betriebsdruck der Hochdrucksäule beträgt beispielsweise 4,3 bis 6,9 bar, vorzugsweise
20 etwa 5,0 bar. Die Niederdrucksäule wird bei einem Betriebsdruck von beispielsweise 1,3 bis 1,7 bar, vorzugsweise etwa 1,5 bar betrieben. Bei den hier und im Folgenden angegebenen Drücken handelt es sich um Absolutdrücke.

Entsprechende Luftzerlegungsanlagen können beispielsweise mit sogenannter
25 Innenverdichtung betrieben werden. Bei der Innenverdichtung wird dem Destillationssäulensystem ein flüssiger Strom entnommen und zumindest zum Teil flüssig auf Druck gebracht. Der flüssig auf Druck gebrachte Strom wird in einem Hauptwärmetauscher der Luftzerlegungsanlage gegen einen Wärmeträger erwärmt und verdampft. Bei dem flüssigen Strom kann es sich insbesondere um flüssigen
30 Sauerstoff, jedoch auch um Stickstoff oder Argon handeln. Die Innenverdichtung wird damit zur Gewinnung entsprechender gasförmiger Druckprodukte eingesetzt.

Die Innenverdichtung ist beispielsweise in folgenden Druckschriften beschrieben:

DE 830 805 B, DE 901 542 B (entspricht US 2 712 738 A bzw. US 2 784 572 A),
DE 952 908 B, DE 1 103 363 B (US 3 083 544 A), DE 1 112 997 B (US 3 214 925 A),
DE 1 124 529 B, DE 1 117 616 B (US 3 280 574 A), DE 1 226 616 A (US 3 216 206 A),
5 DE 1 229 561 B (US 3 222 878 A), DE 1 199 293 B, DE 1 187 248 B (US 3 371 496 A),
DE 1 235 347 B, DE 1 258 882 A (US 3 426 543 A), DE 1 263 037 A (US 3 401 531 A),
DE 1 501 722 A (US 3 416 323 A), DE 1 501 723 A (US 3 500 651 A),
DE 25 351 32 B2 (US 4 279 631 A), DE 26 46 690 A1, EP 0 093 448 B1
(US 4 555 256 A), EP 0 384 483 B1 (US 5 036 672 A), EP 0 505 812 B1
10 (US 5 263 328 A), EP 0 716 280 B1 (US 5 644 934 A), EP 0 842 385 B1
(US 5 953 937 A), EP 0 758 733 B1 (US 5 845 517 A), EP 0 895 045 B1
(US 6 038 885 A), DE 198 03 437 A1, EP 0 949 471 B1 (US 6 185 960 B1),
EP 0 955 509 A1 (US 6 196 022 B1), EP 1 031 804 A1 (US 6 314 755 B1),
DE 199 09 744 A1, EP 1 067 345 A1 (US 6 336 345 B1), EP 1 074 805 A1
15 (US 6 332 337 B1), DE 199 54 593 A1, EP 1 134 525 A1 (US 6 477 860 B2),
DE 100 13 073 A1, EP 1 139 046 A1, EP 1 146 301 A1, EP 1 150 082 A1,
EP 1 213 552 A1, DE 101 15 258 A1, EP 1 284 404 A1 (US 2003/051504 A1),
EP 1 308 680 A1 (US 6 612 129 B2), DE 102 13 212 A1, DE 102 13 211 A1,
EP 1 357 342 A1, DE 102 38 282 A1, DE 103 02 389 A1, DE 103 34 559 A1,
20 DE 103 34 560 A1, DE 103 32 863 A1, EP 1 544 559 A1, EP 1 585 926 A1,
DE 102005 029 274 A1, EP 1 666 824 A1, EP 1 672 301 A1, DE 10 2005 028 012 A1,
WO 2007/033838 A1, WO 2007/104449 A1, EP 1 845 324 A1,
DE 10 2006 032 731 A1, EP 1 892 490 A1, DE 10 2007 014 643 A1, EP 2 015 012 A2,
EP 2 015 013 A2, EP 2 026 024 A1, WO 2009/095188 A2, DE 10 2008 016 355 A1.

25

Der Begriff "Verdampfen" schließt bei der Innenverdichtung Fälle ein, bei denen ein überkritischer Druck herrscht und daher kein Phasenübergang im eigentlichen Sinne stattfindet. Der flüssig auf Druck gebrachte Strom wird dann "pseudoverdampft".

Gegen einen entsprechenden (pseudo-)verdampfenden Strom wird ein Wärmeträger
30 verflüssigt (bzw. pseudoverflüssigt, wenn er unter überkritischem Druck steht). Der Wärmeträger wird dabei üblicherweise durch einen Teil der der Luftzerlegungsanlage zugeführten Luft gebildet.

Um den flüssig auf Druck gebrachten Strom erwärmen und verdampfen zu können,
35 muss der Wärmeträger aufgrund thermodynamischer Gegebenheiten einen höheren

Druck als der flüssig auf Druck gebrachte Strom haben. Hierbei können sogenannte High-Air-Pressure-Verfahren (HAP) eingesetzt werden.

5 Bei einem HAP-Verfahren, das bei einem Doppelsäulensystem verwendet wird, wird die gesamte, der Luftzerlegungsanlage zugeführte bzw. die in einem entsprechenden Verfahren insgesamt eingesetzte Luft (hier als Gesamtluftmenge bezeichnet) in einem Hauptverdichter auf einen Druck verdichtet, der deutlich über dem Betriebsdruck der Hochdrucksäule liegt. Der Druckunterschied beträgt mindestens 4 bar und vorzugsweise zwischen 6 und 16 bar.

10

In HAP-Verfahren kann die im Hauptverdichter verdichtete Luftmenge von der Prozessluftmenge entkoppelt werden. In einem derartigen Fall wird nur ein Teil der auf den genannten Druck verdichteten Gesamtluftmenge als sogenannte Prozessluft genutzt, also für die eigentliche Rektifikation verwendet und in die Hochdrucksäule
15 eingespeist. Eine derartige Entkopplung ist jedoch nicht in allen HAP-Verfahren vorgesehen. HAP-Verfahren sind beispielsweise aus der EP 2 466 236 A1, der EP 2 458 311 A1, der US 2006/0277944 A1, der US 2011/0011130 A1, der EP 1 284 403 A1 und der US 5 329 776 A bekannt.

20 Üblicherweise wird ein Anteil der Gesamtluftmenge, der in die Hochdrucksäule eingespeist wird (hier als "erster" Anteil der Gesamtluftmenge bezeichnet), zunächst als sogenannter Turbinenstrom optional in wenigstens einem Nachverdichter auf einen nochmals höheren Druck (hier als Nachverdichterdruck bezeichnet) nachverdichtet und anschließend nacheinander in dem Hauptwärmetauscher der Luftzerlegungsanlage
25 abgekühlt, in einer Entspannungsmaschine entspannt und überwiegend, insbesondere abzüglich eines sich abscheidenden Kondensats, in die Hochdrucksäule eingespeist. Die Entspannung in der Entspannungsmaschine erfolgt dabei auf den Betriebsdruck der Hochdrucksäule oder einen geringfügig darüber liegenden Druck.

30 Ein weiterer Anteil der Gesamtluftmenge (hier als "zweiter" Anteil der Gesamtluftmenge bezeichnet), wird als sogenannter Drosselstrom ebenfalls optional nachverdichtet und in dem Hauptwärmetauscher abgekühlt. Dieser zweite Anteil wird anschließend, beispielsweise über ein Entspannungsventil, auf den ersten oder einen vergleichbaren Druck entspannt und in das Destillationssäulensystem eingespeist. Die Einspeisung
35 erfolgt beispielsweise ebenfalls in die Hochdrucksäule oder in die Niederdrucksäule.

Ein noch weiterer Anteil der Gesamtluftmenge (hier als "dritter" Anteil der Gesamtluftmenge bezeichnet) kann bis auf die Einspeisung in die Hochdrucksäule den gleichen Schritten unterworfen werden wie der erste Anteil der Gesamtluftmenge oder
5 aber bereits direkt stromab des Hauptverdichters abgezweigt und optional auch separat nachverdichtet werden. Auch der dritte Anteil kann in dem Hauptwärmetauscher abgekühlt und damit als Wärmeträger zum Verdampfen des flüssig auf Druck gebrachten Stroms verwendet werden.

10 Der dritte Anteil der Gesamtluftmenge wird jedoch nicht in die Hochdrucksäule eingespeist, sondern letztlich auf einen Druck entspannt, der niedriger ist als der Betriebsdruck der Hochdrucksäule, beispielsweise Atmosphärendruck oder den Betriebsdruck der Niederdrucksäule. Die Entspannung kann auch zunächst in jener Entspannungsmaschine erfolgen, die zur Entspannung des ersten Anteils der
15 Gesamtluftmenge verwendet wird. Der dritte Anteil der Gesamtluftmenge wird danach weiter entspannt, beispielsweise in einer weiteren Entspannungsmaschine. Der dritte Anteil der Gesamtluftmenge kann jedoch auch in nur einer einzigen Entspannungsmaschine entspannt werden.

20 Die verwendete(n) Entspannungsmaschine(n) ist bzw. sind dabei mit dem oder den Nachverdichtern gekoppelt, die gegebenenfalls zur Nachverdichtung eingesetzt werden. Die Nachverdichtung der ersten bis dritten Anteile der Gesamtluftmenge kann separat oder gemeinsam erfolgen. Zumindest einer der Anteile der Gesamtluftmenge kann auch ohne Nachverdichtung eingesetzt werden.

25 Bei einem HAP-Verfahren wird also die Gesamtluftmenge erhöht. Ein Teil der Gesamtluftmenge kann in einer oder mehreren Entspannungsmaschinen entspannt werden. Hierüber können einer oder mehrere Nachverdichter angetrieben werden. Die Erhöhung der Luftmenge der Einsatzluft ermöglicht damit bei einem HAP-Verfahren
30 moderatere Drücke am Hauptverdichter und damit eine Kostenersparnis.

Neben den gasförmigen Druckprodukten, die durch Innenverdichtung erhalten werden (nachfolgend kurz als "Gasprodukte" bezeichnet), ist jedoch häufig auch die Entnahme von Flüssigprodukten aus einer Luftzerlegungsanlage erwünscht. Hierzu wird ein Teil
35 des flüssigen Stroms verwendet, der jedoch nicht verdampft wird. HAP-Verfahren sind

bezüglich einer Verschiebung der jeweiligen Gas- bzw. Flüssigproduktmengen jedoch relativ unflexibel, d.h. insbesondere die Flüssigproduktmenge kann aus den unten näher erläuterten Gründen nur in relativ geringem Umfang variiert werden.

- 5 Es besteht daher der Bedarf nach verbesserten Möglichkeiten zur Gewinnung von Luftprodukten, die insbesondere eine Einstellung der jeweiligen Gas- bzw. Flüssigproduktmengen ermöglichen.

Offenbarung der Erfindung

10

Vor diesem Hintergrund schlägt die vorliegende Anmeldung ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft und eine zur Durchführung eines derartigen Verfahrens eingerichtete Luftzerlegungsanlage mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vor. Bevorzugte Ausgestaltungen sind jeweils Gegenstand der

15 abhängigen Patentansprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

Vorteile der Erfindung

20

Die mangelnde Flexibilität herkömmlicher HAP-Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft kann anhand folgender Produktkonstellationen qualitativ veranschaulicht werden. Der Begriff "Gasproduktmenge" bezeichnet dabei die Menge eines durch Innenverdichtung (und nachfolgende Verdampfung) bereitgestellten gasförmigen Druckprodukts, der Begriff "Flüssigproduktmenge" die Menge eines der

Luftzerlegungsanlage flüssig entnommenen Luftprodukts:

25

1. Gasproduktmenge niedrig, Flüssigproduktmenge hoch
2. Gasproduktmenge hoch, Flüssigproduktmenge hoch
3. Gasproduktmenge hoch, Flüssigproduktmenge niedrig

30

Bei einem Übergang von Produktkonstellation 2 zu Produktkonstellation 3 geht die insgesamt erforderliche Luftmenge am Hauptverdichter zurück. Aufgrund der Verringerung der Flüssigproduktmenge sinkt der erforderliche Druck am Hauptverdichter, da aufgrund der geringeren Flüssigproduktmenge weniger Kälteleistung benötigt wird.

35

Beim Übergang von Produktkonstellation 2 zu Produktkonstellation 1 geht die erforderliche Luftmenge aufgrund der Verringerung der Gasproduktmenge ebenfalls zurück. Da aber aufgrund der weiterhin hohen Flüssigproduktmenge weiterhin eine hohe Kälteleistung benötigt wird, muss der Druck am Hauptverdichter steigen.

5

Bei schwankenden Produkthanforderungen werden die Auslegungsgrenzen des verwendeten Hauptverdichters rasch erreicht. Auch die verwendeten Nachverdichter und Entspannungsmaschinen erreichen ihre Auslegungsgrenzen, da der durch diese bereitzustellende Druck bzw. die zu verarbeitende Luftmenge direkt mit den entsprechenden Kenngrößen des Hauptverdichters gekoppelt sind.

10

Herkömmliche Luftzerlegungsanlagen können daher die schwankenden Produkthanforderungen häufig nicht erfüllen. In Anlagen, in denen zeitweise erhöhte Mengen verdichteter Luft durch zusätzliche Einrichtungen bereitgestellt werden, beispielsweise in Anlagen mit Gasturbinen, wie sie in der EP 0 793 070 A2 offenbart sind, kann auch nur in entsprechenden Zeiten eine erhöhte Flüssigproduktmenge erzeugt werden. Auch dies schränkt die Flexibilität deutlich ein.

15

Die vorliegende Erfindung schlägt zur Überwindung dieser Nachteile ein Verfahren zur Gewinnung von Luftprodukten durch Tieftemperaturzerlegung von Luft in einem Destillationssäulensystem einer Luftzerlegungsanlage, das eine Hochdrucksäule und eine Niederdrucksäule aufweist, vor. Wie in herkömmlichen HAP-Verfahren auch wird dabei die in dem Verfahren insgesamt eingesetzte Gesamtluftmenge in einem Hauptverdichter auf einen Hauptverdichterdruck verdichtet, der zumindest 4 bar höher ist als ein Betriebsdruck, bei dem die Hochdrucksäule betrieben wird. Wie erläutert, ist die "Gesamtluftmenge" die gesamte in einem entsprechenden Verfahren bzw. einer entsprechenden Anlage verdichtete Luft. Diese umfasst sowohl die in das Destillationssäulensystem eingespeiste und dort zerlegte Luft (sogenannte Prozessluft), als auch weitere, nicht in das Destillationssäulensystem eingespeiste Luft. Bei der Gesamtluftmenge handelt es sich damit um die gesamte Einsatzluft.

20

25

30

Ein erster Anteil der auf den Hauptverdichterdruck verdichteten Gesamtluftmenge wird einem Hauptwärmetauscher warmseitig zugeführt, in dem Hauptwärmetauscher abgekühlt, in einer Entspannungsmaschine auf einen ersten Druck entspannt und in die Hochdrucksäule eingespeist. Es handelt sich hierbei um den sogenannten

35

Turbinenstrom. Ein zweiter Anteil der auf den Hauptverdichterdruck verdichteten Gesamtluftmenge wird in dem Hauptwärmetauscher abgekühlt, beispielsweise über ein Entspannungsventil entspannt und in das Destillationssäulensystem, also die Hochdrucksäule und/oder die Niederdrucksäule, eingespeist. Bei diesem zweiten Anteil
5 handelt es sich um den sogenannten Drosselstrom.

Erfindungsgemäß ist in Abhängigkeit von einer Flüssigproduktmenge zumindest eines der Luftzerlegungsanlage in flüssigem Zustand zu entnehmenden Luftprodukts ein erster und ein zweiter Betriebsmodus vorgesehen, zu deren Realisierung eine
10 Generatorturbine verwendet wird. In der Generatorturbine wird ein dritter Anteil der Gesamtluftmenge in dem zweiten Betriebsmodus in einer größeren Menge als in dem ersten Betriebsmodus entspannt und anschließend in die Atmosphäre abgeblasen. Gleichzeitig wird das zumindest eine flüssige Luftprodukt aus der Luftzerlegungsanlage in dem zweiten Betriebsmodus in einer größeren Flüssigproduktmenge als in dem
15 ersten Betriebsmodus entnommen.

Die Angabe, dass der dritte Anteil der Gesamtluftmenge in dem zweiten Betriebsmodus "in einer größeren Menge als in dem ersten Betriebsmodus" entspannt und anschließend in die Atmosphäre abgeblasen wird, und dass das zumindest eine
20 flüssige Luftprodukt aus der Luftzerlegungsanlage in dem zweiten Betriebsmodus "in einer größeren Flüssigproduktmenge als in dem ersten Betriebsmodus" entnommen wird, umfasst explizit auch Fälle, in denen nur in dem zweiten Betriebsmodus der dritte Anteil der Gesamtluftmenge in der Generatorturbine entspannt und in die Atmosphäre abgeblasen wird, und/oder in denen nur in dem zweiten Betriebsmodus das zumindest
25 eine flüssige Luftprodukt der Luftzerlegungsanlage entnommen wird. Mit anderen Worten kann auch vorgesehen sein, dass in dem ersten Betriebsmodus kein Anteil der Gesamtluftmenge in der Generatorturbine entspannt und in die Atmosphäre abgeblasen wird und/oder kein flüssiges Luftprodukt der Luftzerlegungsanlage entnommen wird.

Die erfindungsgemäßen Maßnahmen lassen sich grundsätzlich bei allen HAP-Verfahren einsetzen. Grundsätzlich weist jedes HAP-Verfahren einen Sweetspot auf, der durch das Verhältnis von Flüssigproduktmenge zu Gasproduktmenge (siehe unten) und durch den Innenverdichtungsdruck definiert ist. Bei einer Abweichung von diesem
35 Sweetspot werden entsprechende Verfahren unflexibel, da die Auslegungsgrenzen der

verwendeten Vorrichtungen erreicht werden. Wie unten im Detail erläutert, erweitert die zusätzliche Generatorturbine den Anwendungsbereich eines entsprechenden HAP-Verfahrens, so dass das genannte Verhältnis stärker verschoben werden kann. Auf diese Weise kann eine entsprechende Anlage flexibler betrieben werden.

5

Eine Generatorturbine ist hier insbesondere deshalb vorteilhaft, weil diese nicht, wie übliche Turbinen in Luftzerlegungsanlagen, mit einem Verdichter gekoppelt ist. Die Generatorturbine kann daher völlig unabhängig von in entsprechenden Verdichtern zu verdichtenden Luftanteilen betrieben werden. Das erfindungsgemäße Verfahren

10 erweist sich damit als besonders flexibel zur Gewinnung unterschiedlicher Flüssigproduktmengen in einer Luftzerlegungsanlage. Die Generatorleistung des Generators der Generatorturbine ist einstellbar, so dass auch die Bedingungen, unter denen die Entspannung der Luft in der Generatorturbine erfolgt, den jeweiligen Erfordernissen angepasst werden können.

15

Auch weil der durch die Generatorturbine entspannte dritte Anteil der Gesamtluftmenge anschließend in die Atmosphäre abgeblasen wird, ist dessen Menge besonders flexibel einstellbar. Beispielsweise sind sogenannte Einblaseturbinen bekannt, die einen Luftanteil entspannen, der anschließend in die Niederdrucksäule eingeblasen wird.

20

Eine derartige Einblaseturbine kann aber nur in geringem Umfang in ihren Betriebsbedingungen und ihrem Durchsatz variiert werden, da sich die Menge der in ihr entspannten Luft aufgrund der Einspeisung in die Niederdrucksäule nur in bestimmten Grenzen bewegen kann.

25

Ferner wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung der erste Anteil der auf den Hauptverdichterdruck verdichteten Gesamtluftmenge der Entspannungsmaschine höchstens mit einem Druck zugeführt, bei dem dieser auch dem Hauptwärmetauscher warmseitig zugeführt wird. Der erste Anteil der Gesamtluftmenge kann dabei vor dem Einspeisen in den Hauptwärmetauscher auch in wenigstens einem Nachverdichter auf

30 einen Nachverdichterdruck nachverdichtet und der Entspannungsmaschine damit höchstens mit dem Nachverdichterdruck zugeführt werden. Mit anderen Worten wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung der ggf. entsprechend nachverdichtete erste Anteil der Gesamtluftmenge nach der Abkühlung in dem Hauptwärmetauscher und vor der Entspannung in der Entspannungsmaschine keinen druckerhöhenden Maßnahmen

35 mehr unterworfen. Hierdurch kann auf einen Kaltverdichter verzichtet werden, was eine

besonders kostengünstige Erstellung einer entsprechenden Luftzerlegungsanlage und einen wartungsarmen Betrieb ermöglicht.

Wie erwähnt, erfolgt die Entspannung des ersten Anteils der Gesamtluftmenge auf
5 einen Druck, der dem Betriebsdruck der Hochdrucksäule entspricht oder geringfügig
höher ist als dieser (mit dem "geringfügigen" Druckunterschied von z.B. höchstens 0,05
oder 0,1 bar werden beispielsweise Leitungsverluste ausgeglichen). Der Druck, auf
den der dritte Anteil der Gesamtluftmenge entspannt wird, entspricht beispielsweise
10 Atmosphärendruck oder dem Druck der Niederdrucksäule oder liegt in
entsprechendem Sinn "geringfügig" höher.

Wie erwähnt, ist bei den eingangs erläuterten und im Rahmen der Erfindung
eingesetzten HAP-Verfahren der Druck, mit dem die Gesamtluftmenge bereitgestellt
wird, wesentlich höher als der Betriebsdruck der Hochdrucksäule. Unter "wesentlich
15 höher" wird dabei im Rahmen dieser Anmeldung ein Druckunterschied von mindestens
4 bar und vorzugsweise zwischen 6 und 16 bar verstanden.

Ein "Hauptverdichter" ist dabei im Rahmen der vorliegenden Erfindung der Verdichter
oder die Verdichteranordnung, durch den bzw. die die insgesamt eingesetzte
20 Gesamtluftmenge, also die gesamte Einsatzluft des Verfahrens bzw. der
Luftzerlegungsanlage, verdichtet wird. Jeder andere Verdichter (Nachverdichter,
Booster) verdichtet im Rahmen der vorliegenden Erfindung nur einen Teil dieser
Einsatzluft stromab des Hauptverdichters. Charakteristisch für einen Hauptverdichter
ist, dass dieser sich stromauf von Reinigungseinrichtungen zur Entfernung von Wasser
25 und/oder Kohlendioxid befindet. Ist im vorliegenden Fall davon die Rede, dass der
Hauptverdichter die Gesamtluftmenge verdichtet, schließt dies damit aus, dass weitere
Luft in die Luftzerlegungsanlage eingespeist wird, die nicht durch den Hauptverdichter
geführt wird. Der Hauptverdichter kann insbesondere auch der Verdichter oder die
Verdichteranordnung sein, der bzw. die die einzige, insbesondere die einzige mit
30 externer Energie angetriebene, Maschine zur Verdichtung von Luft in der
Luftzerlegungsanlage darstellt. Unter dem Begriff "einzige Maschine" wird hier ein
einstufiger oder mehrstufiger Verdichter verstanden, dessen Stufen alle mit dem
gleichen Antrieb verbunden sind, wobei alle Stufen in einem Gehäuse untergebracht
oder mit einem Getriebe verbunden sein können. Mit "externer Energie" ist ein
35 Verdichter beispielsweise dann angetrieben, wenn er nicht über eine Welle mit einer

Entspannungsmaschine gekoppelt ist und damit mit Energie betrieben wird, die aus einer arbeitsleistenden Entspannung von zuvor mittels des Hauptverdichters verdichteter Luft stammt. Die Nachverdichter zählen nicht zu den mit externer Energie angetriebenen Maschinen, da sie, wie erwähnt, durch die ihnen jeweils zugeordneten

5 Entspannungsmaschinen (Turboexpander) angetrieben werden.

Der "Hauptwärmetauscher" kann aus einem oder mehreren parallel und/oder seriell verbundenen Wärmetauscherabschnitten gebildet sein, beispielsweise aus einem oder mehreren Plattenwärmetauscherblöcken. Ein Hauptwärmetauscher dient zur

10 Abkühlung der Anteile der Gesamtluftmenge im indirekten Wärmetausch mit Rückströmen aus dem Destillationssäulensystem bzw. zur Verdampfung bei der Innenverdichtung.

Der Begriff "Entspannungsmaschine" umfasst jede Maschine zur arbeitsleistenden

15 Entspannung eines Prozessstroms, beispielsweise eines der Anteile der Gesamtluftmenge. Bevorzugt werden die Entspannungsmaschinen bei der vorliegenden Erfindung jedoch durch die grundsätzlich aus dem Bereich der Kryotechnik bekannten Turboexpander bzw. Expansionsturbinen gebildet.

20 Die "Generatorturbine" ist eine entsprechende Entspannungsmaschine, die mit einem elektrischen Generator mechanisch gekoppelt ist und damit die bei der arbeitsleistenden Entspannung geleistete Arbeit in elektrische Leistung umsetzen kann. Bevorzugt ist auch die Entspannungsmaschine einer Generatorturbine als Turboexpander bzw. Expansionsturbine ausgebildet.

25 Ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung davon die Rede, dass Anteile der Gesamtluftmenge in einem Hauptwärmetauscher "abgekühlt" und/oder "erwärmt" werden, bedeutet dies, dass entsprechende Anteile der Gesamtluftmenge den Wärmetauscher zumindest über eine gewisse Fließstrecke durchlaufen. Die Abkühlung

30 bzw. Erwärmung muss dabei nicht im gesamten Umfang des durch den Wärmetauscher bereitgestellten Temperaturgradienten erfolgen, entsprechende Anteile können vielmehr auch nur teilweise abgekühlt bzw. erwärmt werden.

In entsprechender Weise werden die Anteile in den verwendeten

35 Entspannungsmaschinen bzw. weiteren Entspannungseinrichtungen wie

Entspannungsventilen nicht notwendigerweise vollständig (d.h. auf Umgebungsdruck) entspannt sondern ggf. nur in einem gewissen Umfang (teilentspannt).

Wie erwähnt, unterscheiden sich der erste und der zweite Betriebsmodus im

- 5 Wesentlichen durch die Menge des dritten Anteils der Einsatzluft, der in der Generator-turbine entspannt wird (wobei der Generator-turbine in dem ersten Betriebsmodus ggf. gar keine Luft zugeführt wird) und die Flüssigproduktmenge (wobei der Luftzerlegungsanlage in dem ersten Betriebsmodus ggf. gar kein Flüssigprodukt entnommen wird). Der Rest der Gesamtluftmenge, der nicht als dritter Anteil in der
- 10 Generator-turbine entspannt wird, beträgt in dem ersten Betriebsmodus beispielsweise mindestens 95% der Gesamtluftmenge. Prozentangaben bezeichnen hier und im Folgenden beispielsweise Masse- oder Molprozent. Die Gesamtluftmenge wird dabei, abzüglich eines nach der Entspannungsmaschine aus dem ersten Anteil abgeschiedenen Kondensats, zu mindestens 95% in die Hochdrucksäule eingespeist.
- 15 Hierbei handelt es sich um den sogenannten Turbinenstrom, wie eingangs erläutert, oder um einen Teil eines entsprechenden Turbinenstroms, und um den sogenannten Drosselstrom. Der erste Anteil und der zweite Anteil können dabei gemeinsam beispielsweise 95%, 96%, 97%, 98% oder 99% der Gesamtluftmenge umfassen, die Gesamtluftmenge kann in dem ersten Betriebsmodus aber auch vollständig in die
- 20 Hochdrucksäule eingespeist werden.

In dem zweiten Betriebsmodus wird die Gesamtluftmenge beispielsweise zu einem dritten Anteil von mindestens 5% in der Generator-turbine entspannt. Der dritte Anteil kann hierbei beispielsweise 5% bis 10%, 10% bis 20% oder 20% bis 30% der

25 Gesamtluftmenge umfassen. Der erste und der zweite Anteil zusammen reduzieren sich damit anteilsmäßig entsprechend.

- Das Verhältnis des ersten Anteils zu dem zweiten Anteil der Gesamtluftmenge kann je nach den vorliegenden Erfordernissen eingestellt werden. Beispielsweise kann der
- 30 erste Anteil der Gesamtluftmenge (also der Turbinenstrom) die drei- bis fünffache Luftmenge des zweiten Anteils (also des Drosselstroms) umfassen.

- Die erfindungsgemäß vorgeschlagenen Maßnahmen bewirken eine signifikante Erhöhung der Flexibilität des erläuterten HAP-Verfahrens. In der eingangs erwähnten
- 35 Produktkonstellation 2 (Gas- und Flüssigproduktmenge hoch) wird die verwendete

Generatorturbine mit einem mittleren dritten Anteil der Gesamtluftmenge beaufschlagt. Der Anteil kann dabei entsprechend der Gas- und Flüssigproduktmenge eingestellt werden. Die Generatorturbine ist vorteilhafterweise derart ausgelegt, dass sie, ausgehend von diesem "mittleren" dritten Anteil, eine Lasterhöhung und eine

5 Lastverringern in geeignetem Umfang ermöglicht.

Bei einem Übergang von der Produktkonstellation 2 zur Produktkonstellation 3 (d. h. bei einer Verringerung der Flüssigproduktmenge bei gleichbleibend hoher Gasproduktmenge) kann diese geringere Flüssigproduktmenge und der dadurch

10 geringere Kältebedarf durch eine Reduktion des dritten Anteils der Gesamtluftmenge (ggf. auf Null), der der Generatorturbine zugeführt wird, kompensiert werden. Die Generatorturbine kann in diesem Fall ggf. ausgeschaltet werden. Der durch den Hauptverdichter bereitgestellte Druck kann jedoch im Wesentlichen konstant bleiben.

15 Beim Übergang von der Produktkonstellation 2 zu der Produktkonstellation 1, bei welchem die Flüssigproduktmenge im Wesentlichen gleichbleibt, die Gasproduktmenge hingegen reduziert wird, kann ein Ausgleich durch eine Lasterhöhung an der Generatorturbine erfolgen. Der in der Generatorturbine entspannte dritte Anteil der Gesamtluftmenge wird also erhöht. Der Druck der durch

20 den Hauptverdichter geförderten Luft kann auch hier im Wesentlichen gleichbleiben.

Im Rahmen der vorliegenden Anmeldung werden die Fälle, in denen ein vergleichsweise hoher dritter Anteil des Einsatzluftstroms in der Generatorturbine entspannt wird, als "zweiter Betriebsmodus" bezeichnet. Ein "zweiter Betriebsmodus"

25 entspricht dabei Betriebszuständen, in denen die zuvor erläuterte Flüssigproduktmenge vergleichsweise hoch ist. Der "erste Betriebsmodus" wird hingegen dann durchgeführt, wenn die Flüssigproduktmenge vergleichsweise gering ist. In dem "ersten Betriebsmodus" ist damit auch der in der Generatorturbine entspannte dritte Anteil der Gesamtluftmenge vergleichsweise gering.

30

Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst vorteilhafterweise, aus dem Destillationssäulensystem einen flüssigen Strom abzuziehen, von dem zumindest in dem zweiten Betriebsmodus zumindest ein Teil aus der Luftzerlegungsanlage als das flüssige Luftprodukt ausgeleitet wird. Jedenfalls wird der Luftzerlegungsanlage in dem

35 zweiten Betriebsmodus eine höhere Flüssigproduktmenge entnommen als in dem

ersten Betriebsmodus (in welchem die Flüssigproduktmenge Null betragen kann). Der aus dem Destillationssäulensystem abgezogene flüssige Strom, der dann als flüssiges Luftprodukt der Luftzerlegungsanlage insgesamt entnommen wird, hat wesentlichen Einfluss auf den Kältebedarf der Luftzerlegungsanlage. Wie zuvor angesprochen, richtet sich die Einstellung des ersten bzw. zweiten Betriebsmodus nach diesem Kältebedarf.

Bei dem aus dem Destillationssäulensystem abgezogenen flüssigen Strom kann es sich dabei beispielsweise um Sauerstoff aus einer Niederdrucksäule, Stickstoff aus einer Hochdrucksäule oder Argon aus einer Reinargonsäule handeln.

Der aus dem Destillationssäulensystem flüssig abgezogene Strom wird der Luftzerlegungsanlage in dem ersten und dem zweiten Betriebsmodus zumindest zu einem Teil als gasförmiges Luftprodukt in einer variablen Gasproduktmenge entnommen. Wird kein Flüssigprodukt entnommen (in dem ersten Betriebsmodus), wird der flüssig abgezogene Strom vollständig als gasförmiges Luftprodukt entnommen. Wie erläutert, kann mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens hier besonders flexibel auf schwankende Entnahmemengen reagiert werden.

Zur Gewinnung dieses gasförmigen Luftprodukts wird der aus dem Destillationssäulensystem flüssig abgezogene Strom zumindest teilweise flüssig druckerhöht. Es handelt sich also um ein Innenverdichtungsverfahren.

Der dritte Anteil der Gesamtluftmenge wird dabei in dem zweiten Betriebsmodus auch in Abhängigkeit von einem Verhältnis der Flüssigproduktmenge zu der Gasproduktmenge oder umgekehrt eingestellt. Dies entspricht einer Einstellung des über die Generatorturbine entspannten dritten Anteils der Gesamtluftmenge zu der in die Hochdrucksäule in Form des ersten und zweiten Anteils eingespeisten Luftmenge.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht eine flexible Entnahme von Gas- und Flüssigprodukten, wobei die Flüssigproduktmenge in dem zweiten Betriebsmodus jedenfalls höher als in dem ersten Betriebsmodus ist. Exakte Werte richten sich hier nach der spezifischen Auslegung der Luftzerlegungsanlage. Beispielsweise kann in dem erläuterten ersten Betriebsmodus ein Anteil von 3% der Gesamtluftmenge als Flüssigproduktmenge entnommen werden, die im zweiten Betriebsmodus auf 5%

erhöht wird. Ohne Generatorturbine wäre evtl. nur eine Flüssigproduktmenge von maximal 4% möglich. Beispielsweise kann in dem zweiten Betriebsmodus eine Flüssigproduktmenge von wenigstens 0,5%, 1%, 2%, 3%, 4% oder 5% der Gesamtluftmenge als Flüssigproduktmenge entnommen werden und in dem ersten Betriebsmodus entsprechend weniger. Beispielsweise kann die maximale Flüssigproduktmenge in dem zweiten Betriebsmodus zumindest dem 1,2-fachen, 1,3-fachen, 1,4-fachen, 1,5-fachen oder Doppelten der maximalen Flüssigproduktmenge in dem ersten Betriebsmodus entsprechen. Es versteht sich, dass diese Werte auch Obergrenzen darstellen können.

10

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird vorteilhafterweise der erste und/oder der zweite Anteil der Gesamtluftmenge nach dem Verdichten in dem Hauptverdichter, jedoch vor der erstmaligen Abkühlung in dem Hauptwärmetauscher, in wenigstens einem Nachverdichter auf einen Nachverdichterdruck nachverdichtet. Der wenigstens eine Nachverdichter kann zumindest teilweise mittels der Entspannungsmaschine angetrieben werden, in der der erste Anteil der Einsatzluft entspannt wird. Beispielsweise kann der dritte Anteil der Gesamtluftmenge auf den Nachverdichterdruck nachverdichtet werden. Der dritte Anteil der Gesamtluftmenge wird vor seiner Entspannung in der Generatorturbine vorteilhafterweise ferner ebenfalls in dem Hauptwärmetauscher abgekühlt und in der Entspannungsmaschine entspannt. Entsprechende Einrichtungen brauchen daher nicht mehrfach vorgesehen sein.

15

20

Ein erfindungsgemäßes Verfahren kann auch die Gewinnung von Edelgasprodukten aus der Einsatzluft, beispielsweise von Argon und/oder Neon umfassen. Für entsprechende Verfahren werden bekannte Einrichtungen verwendet, wie sie auch im Rahmen der Figurenbeschreibung näher erläutert sind.

25

Die erfindungsgemäße Luftzerlegungsanlage ist zur Durchführung des zuvor erläuterten Verfahrens eingerichtet und verfügt über entsprechend ausgebildete Mittel. Zu den Merkmalen und Vorteilen der erfindungsgemäßen Luftzerlegungsanlage sei auf die obigen Erläuterungen ausdrücklich verwiesen.

30

Eine entsprechende Luftzerlegungsanlage ist zumindest in dem zweiten Betriebsmodus zur Bereitstellung eines flüssigen Luftprodukts in einer Flüssigproduktmenge und eines gasförmigen Luftprodukts in einer Gasproduktmenge

35

eingerrichtet, wobei Mittel vorgesehen sind, die dazu eingerichtet sind, den dritten Anteil der Gesamtluftmenge in Abhängigkeit von einem Verhaltntis der Flüssigproduktmenge zu der Gasproduktmenge einzustellen. Die entsprechenden Mittel können insbesondere in Form einer automatischen Steuer- und/oder Regeleinrichtung ausgebildet sein, die bei einer Benutzervorgabe bezüglich der Flüssigproduktmenge bzw. der Gasproduktmenge eine automatische Anpassung vornimmt. Eine entsprechende Steuer- und/oder Regeleinrichtung kann auch insbesondere dazu vorgesehen sein, von dem ersten Betriebsmodus bei Bedarf in den zweiten Betriebsmodus umzuschalten und beispielsweise die Generator turbine zu starten.

10

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beige fügten Zeichnungen gegenüber dem Stand der Technik näher erläutert.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

15

Figur 1 zeigt eine nicht erfindungsgemäße Luftzerlegungsanlage in Form eines schematischen Anlagendiagramms.

20

Figur 2 zeigt in den Teilfiguren 2A bis 2E Ausführungsformen nicht erfindungsgemäßer Luftzerlegungsanlagen in schematischen Ausschnittsdarstellungen.

Figur 3 zeigt in den Teilfiguren 3A bis 3E Ausführungsformen erfindungsgemäßer Luftzerlegungsanlagen in schematischen Ausschnittsdarstellungen.

25

Figur 4 zeigt in den Teilfiguren 4A und 4B Ausführungsformen von Luftzerlegungsanlagen in schematischen Ausschnittsdarstellungen.

Ausführliche Beschreibung der Figuren

30

In Figur 1 ist eine nicht erfindungsgemäße Luftzerlegungsanlage schematisch in Form eines Anlagendiagramms dargestellt. Die zur Innenverdichtung eingerichtete Luftzerlegungsanlage ist insgesamt mit 100 bezeichnet.

35

Es sei bereits an dieser Stelle betont, dass die vorliegende Erfindung nicht auf den Einsatz bei Luftzerlegungsanlagen 100 in der hier dargestellten spezifischen

Ausführungsform beschränkt ist, sondern grundsätzlich bei unterschiedlichsten HAP-Verfahren, wie sie beispielsweise in den Teilfiguren 2A bis 2E der Figur 2 in schematischen Ausschnittsdarstellungen gezeigt sind, zum Einsatz kommen kann. Die Figur 1 dient somit vornehmlich der Erläuterung der Einbindung der in den Figuren 2 und 3 gezeigten schematischen Ausschnittsdarstellungen in einen Gesamtzusammenhang einer Luftzerlegungsanlage 100.

Eine Gesamtluftmenge atmosphärischer Luft (AIR) wird über ein Filter 1 von einem Hauptverdichter 2 angesaugt und dort auf einen Hauptverdichterdruck verdichtet, der bei einem HAP-Verfahren, wie es hier zum Einsatz kommt, zumindest 4 bar höher ist als der Betriebsdruck einer Hochdrucksäule (siehe unten). Nach Durchströmen eines Nachkühlers 3 und eines hier nicht näher erläuterten Abscheiders 4 zum Abscheiden von Wasser (H₂O) wird die verdichtete Luft einer Reinigungsvorrichtung 5 zugeführt, die ein Paar von mit Adsorptionsmaterial, vorzugsweise Molekularsieb, gefüllten Behältern aufweist. Die entsprechend gereinigte Luft verlässt die Reinigungsvorrichtung 5 als Strom a.

Der Strom a wird in der Luftzerlegungsanlage 110 auf herkömmliche Weise zunächst in einem ersten Nachverdichter 11 und anschließend in einem zweiten Nachverdichter 21 nachverdichtet. Der erste Nachverdichter 11 und der zweite Nachverdichter 21 sind jeweils mit einer ersten Entspannungsmaschine 12 bzw. einer zweiten Entspannungsmaschine 22 mechanisch gekoppelt, beispielsweise jeweils über eine gemeinsame Welle. Stromab des ersten Nachverdichters 11 und des zweiten Nachverdichters 21 sind jeweils Nachkühler 13 bzw. 23 angeordnet. Stromab des zweiten Nachverdichters 21 bzw. des Nachkühlers 23 wird der Strom a, also die Gesamtluftmenge, in einen ersten Teilstrom b und in einen zweiten Teilstrom c aufgeteilt. Die Aufteilung kann jedoch auch an anderer Stelle erfolgen.

Der Teilstrom b und der Teilstrom c werden in einem Hauptwärmetauscher 6 abgekühlt. Die Abkühlung erfolgt vorzugsweise auf unterschiedliche Temperaturen, so dass der Teilstrom b dem Hauptwärmetauscher 6 bei einer Zwischentemperatur entnommen und damit "teilabgekühlt" wird und der Teilstrom c den Hauptwärmetauscher 6 bis zu dessen kaltem Ende durchläuft.

Nach der Entnahme des Teilstroms b aus dem Hauptwärmetauscher 6 wird dieser der ersten Entspannungsmaschine 12 zugeführt und dort auf einen Zwischendruck entspannt. Der Zwischendruck liegt geringfügig oberhalb eines Betriebsdrucks einer Hochdrucksäule 71 eines Destillationssäulensystems 7, das unten näher erläutert wird.

5

Der weiterhin mit b bezeichnete und auf den Zwischendruck entspannte Teilstrom wird einem Abscheider 8 zugeführt, von dessen Sumpf eine flüssige Fraktion als ein Strom d abgezogen werden kann. Der Strom d kann (vgl. Verknüpfungspunkt A, beispielsweise 0% bis 15% des Stroms b) in eine Niederdrucksäule 72 des

10 Destillationssäulensystems 7 eingespeist werden.

Eine gasförmige Fraktion vom Kopf des Abscheiders 8 kann als Strom e abgezogen und erneut in einen ersten Teilstrom f und einen zweiten Teilstrom g aufgeteilt werden.

Die Teilstrome f und g entsprechen dem "ersten Anteil" und dem "dritten Anteil" der Gesamtluftmenge, die oben bereits mehrfach erläutert wurden. Der erste Teilstrom f wird in die Hochdrucksäule 71 des Destillationssäulensystems 7 eingespeist, wie unten näher erläutert. Der zweite Teilstrom g wird in dem Hauptwärmetauscher 6 erwärmt und in der zweiten Entspannungsmaschine 22 auf einen Enddruck, beispielsweise Atmosphärendruck, entspannt. Der entspannte zweite Teilstrom g kann anschließend

20 in dem Hauptwärmetauscher 6 weiter erwärmt und mit weiteren Strömen vereinigt, zumindest teilweise in die Atmosphäre (ATM) abgeblasen und/oder einem Verdunstungskühler zugeführt werden.

Der Teilstrom c, bei dem es sich um den "zweiten Anteil" der Gesamtluftmenge

25 handelt, der oben mehrfach erläutert wurde, wird nach dem Durchlaufen des Hauptwärmetauschers 6 über ein Entspannungsventil 9 entspannt und ebenfalls bei entsprechenden Druck in die Hochdrucksäule 71 des Destillationssäulensystems 7 eingespeist.

30 Bei dem Destillationssäulensystem 7 handelt es sich im dargestellten Beispiel um ein Destillationssäulensystem 7 mit einer klassischen Linde-Doppelsäule, die die Hochdrucksäule 71 und die Niederdrucksäule 72 als bauliche Einheit umfasst. Alternativ dazu ist der Einsatz der Erfindung auch in Destillationssäulensystemen 7 möglich, bei denen eine Hochdrucksäule und eine Niederdrucksäule getrennt

35 voneinander angeordnet sind. Die Hochdrucksäule 71 und die Niederdrucksäule 72

sind über einen Hauptkondensator 73 wärmetauschend miteinander verbunden. Die Betriebs- bzw. Trenndrucke – jeweils am Kopf – betragen beispielsweise 4,5 bis 6,5 bar, vorzugsweise etwa 5,0 bar in der Hochdrucksäule und 1,2 bis 1,7 bar, vorzugsweise etwa 1,3 bar in der Niederdrucksäule. Im dargestellten Beispiel sind
5 ferner eine geteilte Rohargonsäule 74, 75 und eine Reinargonsäule 76 vorgesehen, die Erfindung kann jedoch auch in Anlagen ohne eine entsprechende Argongewinnung zum Einsatz kommen.

Flüssiger Rohsauerstoff wird als Strom h vom Sumpf der Hochdrucksäule 71
10 abgezogen, in einem Unterkühlungsgegenströmer 77 unterkühlt und zu einem Teil in einem Sumpfverdampfer 78 der Reinargonsäule 76 weiter abgekühlt. Ein anderer Teil kann an dem Sumpfverdampfer 78 vorbeigeleitet werden. Ist keine Argongewinnung vorgesehen, kann der Strom h auch direkt an einer Zwischenstelle in die Niederdrucksäule 72 überführt werden.

15 Anschließend strömt ein Teil des Rohsauerstoffs des Stroms h in den Verdampfungsraum eines Kopfkondensators der Rohargonsäule 75, ein anderer Teil in den Verdampfungsraum eines Kopfkondensators der Reinargonsäule 76. Der in den Kopfkondensatoren einerseits verdampfte und andererseits flüssig verbliebene Anteil
20 des Rohsauerstoffs wird der Niederdrucksäule 72 in Form der Ströme i und j an geeigneten Zwischenstellen zugeführt. Wie erwähnt kann, wenn keine Argongewinnung vorgesehen ist, der Rohsauerstoff des Stroms h auch direkt an diesen oder entsprechenden Zwischenstellen eingespeist werden.

25 Gasförmiger Stickstoff vom Kopf der Hochdrucksäule 71 wird zu einem ersten Teil als Strom k zum kalten Ende des Hauptwärmetauschers 6 geleitet, dort auf etwa Umgebungstemperatur angewärmt und kann als Dichtgas (Sealgas, SG) für die verwendeten Verdichter der Anlage eingesetzt werden.

30 Der restliche gasförmige Stickstoff vom Kopf der Hochdrucksäule 71 wird als Strom l dem Hauptkondensator 73 zugeführt und dort mindestens teilweise kondensiert. Der dabei erzeugte flüssige Stickstoff kann zu einem Teil als Rücklauf auf die Hochdrucksäule 71 aufgegeben werden. Ein anderer Teil wird als Strom m dem Unterkühlungsgegenströmer 77 zugeführt, dort unterkühlt und zum Kopf der
35 Niederdrucksäule 72 geleitet. Dort kann ein Teil als Strom n zur Bereitstellung eines

Flüssigstickstoffprodukts (LIN) abgezogen werden. Das Flüssigstickstoffprodukt kann beispielsweise in einem Tank eingelagert werden.

Unmittelbar oberhalb des Sumpfes der Niederdrucksäule 72 kann gasförmiger Sauerstoff als Strom o entnommen und, gegebenenfalls nach Vereinigung mit einem Strom p (Unreinstickstoff), der ebenfalls der Niederdrucksäule 72 entnommen und in dem Unterkühlungsgegenströmer 77 erwärmt wird, in einem Hauptwärmetauscher 6 angewärmt werden. Die weitere Verwendung der Ströme o und p entspricht beispielsweise jener des erläuterten Stroms g.

10

Ein flüssiger Sauerstoffstrom q aus dem Sumpf der Niederdrucksäule 72 kann mittels einer Pumpe 79 druckerhöht und als Strom r zumindest teilweise in dem Unterkühlungsgegenströmer 77 unterkühlt, in einer Flüssigproduktmenge aus der Luftzerlegungsanlage 110 ausgeleitet und einem Flüssigtank (LOX) zugeleitet werden.

15

Ein anderer Teil des mittels der Pumpe 79 druckerhöhten Sauerstoffstroms q aus dem Sumpf der Niederdrucksäule 72 kann als Strom s in einer Gasproduktmenge im Hauptwärmetauscher 6 verdampft (beziehungsweise bei überkritischem Druck pseudo-verdampft), auf Umgebungstemperatur angewärmt und als gasförmiges Druckprodukt (GOX-IC) abgezogen werden. Wie erwähnt, sind die entsprechenden Mengen in einer

20

herkömmlichen Anlage 110 nur in engen Grenzen variabel.

Gasförmiger Stickstoff kann als Strom t vom Kopf der Niederdrucksäule 72 abgezogen und im Unterkühlungsgegenströmer 77 unterkühlt werden. Der Strom t kann nach Erwärmung im Hauptwärmetauscher 6 in einem Verdichter (ohne Bezeichnung) extern verdichtet und als gasförmiger Druckstickstoff (GAN-EC) bereitgestellt werden.

25

An einer Zwischenstelle, dem sogenannten Argonübergang, kann in der dargestellten Anlage der Niederdrucksäule 72 ein argonhaltiger Strom u entnommen und dem unteren Teil 74 der Rohargonsäule 74, 75 unmittelbar über dem Sumpf zugeführt werden. Sumpfflüssigkeit des unteren Teils 74 der Rohargonsäule 74, 75 kann als Strom v in die Niederdrucksäule 72 zurückgeleitet werden.

30

Der untere Teil 74 und der obere Teil 75 der zweigeteilten Rohargonsäule 74, 75 können über Leitungen w und x und entsprechende Pumpen und Ventile (ohne

Bezeichnung) miteinander gekoppelt sein. Die zweigeteilte Rohargonsäule 74, 75 kann auch als eine Säule realisiert sein.

Die Kopfkondensatoren des oberen Teils 75 der Rohargonsäule 74, 75 und der
5 Reinargonsäule 76 können beispielsweise als Rücklaufkondensatoren oder als
Badkondensatoren ausgebildet sein. Der Rohargonsäule 75 kann im dargestellten
Beispiel am oberen Ende der Rücklaufpassagen des Kopfkondensators, der hier als
Rücklaufkondensator gezeigt ist, über einen seitlichen Header ein Rohargonstrom y
gasförmig entnommen und der Reinargonsäule 76 an einer geeigneten Zwischenstelle
10 zugeleitet werden.

Die Sumpfflüssigkeit der Reinargonsäule 76 kann zu einem Teil in dem
Sumpfverdampfer 78 verdampft werden, wobei der dabei erzeugte Dampf als
aufsteigendes Gas in der Reinargonsäule 76 genutzt werden kann. Der Rest kann der
15 Reinargonsäule 76 als flüssiger Reinargonproduktstrom z entnommen werden. Das
flüssige Reinargon (LAR) kann in einen Tank überführt werden. Zumindest ein Teil des
Reinargons kann flüssig auf Druck gebracht, in den Hauptwärmetauscher 6 verdampft
und als gasförmiges Druckprodukt (LAR IC) abgegeben werden (vgl. die rechte
Kammer des Hauptwärmetauschers 6, sogenannte Argoninnenverdichtung).

20

Figur 2 zeigt in den Teilfiguren 2A bis 2E Ausführungsformen nicht erfindungsgemäßer
Luftzerlegungsanlagen in schematischen Ausschnittsdarstellungen. Die Teilfiguren 2A
bis 2E zeigen jeweils nur einen Teil der Komponenten einer Luftzerlegungsanlage, die
jedoch mit identischen Bezugszeichen wie in der Figur 1 versehen sind. Eine
25 Luftzerlegungsanlage mit den in den Teilfiguren 2A bis 2E dargestellten spezifischen
Verschaltungen kann dabei in ihren übrigen Bestandteilen entsprechend der
Luftzerlegungsanlage 100 aus Figur 1 oder abweichend hierzu ausgebildet sein. In
allen Fällen handelt es sich jedoch um eine Luftzerlegungsanlage, die für ein HAP-
Verfahren eingerichtet ist, bei dem ein Strom a in einem Hauptverdichter 2 auf einen
30 entsprechend hohen Druck verdichtet wird. Der Hauptwärmetauscher 6 ist hier stark
schematisiert dargestellt. Ein Bereich des Hauptwärmetauschers 6, der beispielsweise
von zu verdampfenden, innenverdichteten Strömen durchströmt wird, ist summarisch
mit 61 bezeichnet, die entsprechenden Ströme tragen keine Bezugszeichen.

Die Gesamtluft wird entsprechend sämtlicher Teilfiguren 2A bis 2E mittels des Hauptverdichters 2 verdichtet und liegt als Strom a vor. Die Teilfiguren 2A bis 2E zeigen ferner die Ströme b und c, die entsprechend der Luftzerlegungsanlage 100 aus Figur 1 verwendet werden, nämlich als Turbinenstrom b und als Drosselstrom c.

5

Die Teilfiguren 2A bis 2E zeigen jedoch Konfigurationen, bei denen nur ein Nachverdichter 11 verwendet wird. Dem Nachverdichter 11 wird dabei in den dargestellten Ausführungsformen der Teilfiguren 2A bis 2C die Luftmenge des Stroms b und c gemeinsam (also der Strom a, Teilfigur 2A), nur der Strom b (Turbinenstrom, Teilfigur 2B) oder nur der Strom c (Drosselstrom, Teilfigur 2C) zugeführt. Die Teilfiguren 2D und 2E zeigen weitere Beispiele, in denen ein weiterer Anteil der Gesamtluftmenge als zusätzlicher Drosselstrom c' verwendet wird. Dieser bleibt in den dargestellten Beispielen ohne Nachverdichtung. Im Übrigen wird in dem in der Teilfigur 2D dargestellten Beispiel der Strom b und c gemeinsam und in der Teilfigur 2E nur der Teilstrom c nachverdichtet. Der Nachverdichter 11 ist in allen Teilfiguren 2A bis 2E mit der ersten Entspannungsmaschine 12 gekoppelt, wie bereits zuvor erläutert.

Für unterschiedliche Produktkonstellationen eignen sich die in den Teilfiguren 2A bis 2E dargestellten Verschaltungen unterschiedlich gut, da sie für die gleiche Aufgabe mehr oder weniger Leistung am Hauptverdichter 2 benötigen. Das Verhältnis der Flüssigproduktmenge zur Gasproduktmenge und der Innenverdichtungsdruck bestimmen maßgeblich, welche der Verschaltungen am besten geeignet ist.

Alle in den Teilfiguren 2A bis 2E dargestellten Verschaltungen haben jedoch gemeinsam, dass sie bei Abweichungen von ihrem Auslegungspunkt relativ unflexibel sind, da diverse Auslegungsgrenzen des verwendeten Equipments (insbesondere des Hauptverdichters 2) schnell erreicht werden. Die erfindungsgemäß zusätzlich vorgesehene Generatorturbine erweitert den Einsatzbereich einer entsprechenden Luftzerlegungsanlage und macht sie damit flexibler.

30

Derart erweiterte Verschaltungen entsprechend Ausführungsformen der Erfindung sind in den Teilfiguren 3A bis 3E gezeigt. Jede der Teilfiguren 3A bis 3E entspricht dabei der entsprechend erweiterten Teilfigur 2A bis 2E. Eine Generatorturbine ist insgesamt mit 30 bezeichnet und weist eine Entspannungsmaschine auf, die mit einem Generator

gekoppelt ist. Der Generatorturbine 30 wird ein gestrichelt dargestellter und mit g' bezeichneter Strom zugeführt.

Der Strom g' (der "dritte Anteil" der Gesamtluftmenge) kann dabei an unterschiedlichen Stellen abgezweigt werden, nämlich vor der Aufteilung in die Ströme b und c von Strom a (Teilfigur 3A), nach der Aufteilung in die Ströme b und c von Strom c (Teilfigur 3B) oder nach der Aufteilung in die Ströme b und c von Strom b (Teilfigur 3C). Die Teilfiguren 3D und 3E zeigen eine Abzweigung von den "zweiten Drosselströmen", nämlich den Strömen c'.

10

Die Teilfigur 3E unterscheidet sich ferner dadurch von der entsprechenden Teilfigur 2E, dass hier eine Abkühlung des Stroms g' vor der Entspannung in der Generatorturbine 30 in einem Bereich 62 des Hauptwärmetauschers 6 vorgenommen wird. Eine derartige Vorkühlung kann auch in den anderen in der Figur 3 gezeigten

15 Verschaltungen zum Einsatz kommen. Umgekehrt kann auch in der Verschaltung gemäß Teilfigur 3E, wie in den anderen in der Figur 3 gezeigten Verschaltungen, ein nicht vorgekühlter Strom g' in der Generatorturbine 30 entspannt werden.

Die Teilfiguren 4A und 4B der Figur 4 zeigen Konfigurationen, bei denen zusätzlich eine Kaltverdichtereinheit 200 verwendet wird. Einem Verdichter (ohne Bezeichnung) der Kaltverdichtereinheit 200 kann dabei der Strom c, also der Drosselstrom zugeführt werden. Der Strom c kann zuvor in einem Bereich 64 des Hauptwärmetauschers 6 abgekühlt werden. Der Strom b wird hingegen stromab des Hauptwärmetauschers 6 keinen druckerhöhenden Maßnahmen unterworfen. Einer Entspannungsmaschine (ohne Bezeichnung) der Kaltverdichtereinheit 200 kann ein "weiterer Turbinenstrom", hier mit b' bezeichnet, zugeführt werden. Dieser kann zuvor in einem Bereich 63 des Hauptwärmetauschers 6 abgekühlt werden.

Der Vorteil bei der Verwendung einer Kaltverdichtereinheit 200 ist der, dass der Verdichter der Kaltverdichtereinheit 200 aufgrund der niedrigen Ansaugtemperatur ein sehr großes Druckverhältnis schafft. Damit erhält man einen höheren Druck am Drosselstrom (Strom c), was die Verdampfung bei der Innenverdichtung erleichtert. Nachteil ist jedoch, dass die Entspannungsmaschine keine Kälte abgibt, da die Austrittstemperatur der Verdichtereinheit deutlich unterhalb einer Kühlwassertemperatur liegt. Daher eignet sich eine Kaltverdichtereinheit 200

insbesondere für Verfahren, bei denen eine geringe Flüssigproduktmenge benötigt wird bzw. das Verhältnis von Flüssigproduktmenge zu Gasproduktmenge klein ist.

Bei Produktkonstellationen, die vom Auslegungspunkt (Sweetspot) abweichen, sind
5 entsprechende Luftzerlegungsanlagen, wie bei vielen HAP-Verfahren, jedoch auch hier nicht mehr fahrbar und somit unflexibel.

Dieses Problem wird auch hier durch eine Generatorturbine 30 behoben (vgl. Teilfigur
4B). Die in der Generatorturbine 30 entspannte Luft wird dabei in einem Bereich 65 des
10 Hauptwärmetauschers 6 erwärmt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Gewinnung von Luftprodukten durch Tieftemperaturzerlegung von Luft in einem Destillationssäulensystem (7) einer Luftzerlegungsanlage, das eine Hochdrucksäule (71) und eine Niederdrucksäule (72) aufweist, wobei

5

- die in dem Verfahren insgesamt eingesetzte Gesamtluftmenge in einem Hauptverdichter (2) auf einen Hauptverdichterdruck verdichtet wird, der zumindest 4 bar höher ist als ein Betriebsdruck, bei dem die Hochdrucksäule (71) betrieben wird, wobei

10

- ein erster Anteil der auf den Hauptverdichterdruck verdichteten Gesamtluftmenge einem Hauptwärmetauscher (6) warmseitig zugeführt und in diesem abgekühlt, in einer Entspannungsmaschine (12) entspannt und in die Hochdrucksäule (71) eingespeist wird, und

15

- ein zweiter Anteil der auf den Hauptverdichterdruck verdichteten Gesamtluftmenge in dem Hauptwärmetauscher (6) abgekühlt, entspannt und in das Destillationssäulensystem (7) eingespeist wird,

20

dadurch gekennzeichnet, dass

- das Verfahren in Abhängigkeit von einer Flüssigproduktmenge zumindest eines der Luftzerlegungsanlage in flüssigem Zustand zu entnehmenden Luftprodukts in einem ersten und in einem zweiten Betriebsmodus

25

durchgeführt wird,

- eine Generatorturbine (30) verwendet wird, in der ein dritter Anteil der auf den Hauptverdichterdruck verdichteten Gesamtluftmenge in dem zweiten Betriebsmodus in einer größeren Menge als in dem ersten Betriebsmodus entspannt und anschließend in die Atmosphäre abgeblasen wird,

30

- das zumindest eine flüssige Luftprodukt der Luftzerlegungsanlage in dem zweiten Betriebsmodus in einer größeren Flüssigproduktmenge als in dem ersten Betriebsmodus entnommen wird, und

- der erste Anteil der Gesamtluftmenge der Entspannungsmaschine (12) höchstens mit einem Druck zugeführt wird, bei dem dieser dem Hauptwärmetauscher (6) warmseitig zugeführt wird.

5

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem nur in dem zweiten Betriebsmodus der dritte Anteil der Gesamtluftmenge in der Generatorturbine (30) entspannt und in die Atmosphäre abgeblasen und/oder nur in dem zweiten Betriebsmodus das zumindest eine flüssige Luftprodukt der Luftzerlegungsanlage entnommen wird.

10

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, bei dem aus dem Destillationssäulensystem (7) ein flüssiger Strom (q, n, z) abgezogen wird, von dem zumindest ein Teil der Luftzerlegungsanlage zumindest in dem zweiten Betriebsmodus als das flüssige Luftprodukt entnommen wird.

15

4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem der aus dem Destillationssäulensystem (7) flüssig abgezogene Strom (q, n, z) zumindest zu einem Teil in flüssigem Zustand druckerhöht, (pseudo-)verdampft und der Luftzerlegungsanlage in dem ersten und in dem zweiten Betriebsmodus in einer variablen Gasproduktmenge als gasförmiges Luftprodukt entnommen wird.

20

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem der dritte Anteil der Gesamtluftmenge in dem zweiten Betriebsmodus in Abhängigkeit von einem Verhältnis der Flüssigproduktmenge zu der Gasproduktmenge eingestellt wird.

25

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Flüssigproduktmenge in dem zweiten Betriebsmodus zumindest dem 1,2-fachen der Flüssigproduktmenge in dem ersten Betriebsmodus entspricht.

30

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der erste und/oder der zweite Anteil der Gesamtluftmenge nach dem Verdichten in dem Hauptverdichter (2) in wenigstens einem Nachverdichter (11) auf einen Nachverdichterdruck nachverdichtet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem der wenigstens eine Nachverdichter (11) zumindest teilweise mittels der Entspannungsmaschine (12) angetrieben wird, in der der erste Anteil der Gesamtluftmenge entspannt wird.

5 9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der dritte Anteil der Gesamtluftmenge vor seiner Entspannung in der Generatorturbine (30) ebenfalls in dem Hauptwärmetauscher (6) abgekühlt und/oder in der Entspannungsmaschine (12) entspannt wird.

10

10. Luftzerlegungsanlage mit einem Destillationssäulensystem (7), das eine Hochdrucksäule (71) und eine Niederdrucksäule (72) aufweist, wobei die Luftzerlegungsanlage ferner aufweist:

15 - einen Hauptverdichter (2), der dafür eingerichtet ist, die der Luftzerlegungsanlage insgesamt zugeführte Gesamtluftmenge auf einen Hauptverdichterdruck zu verdichten, der zumindest 4 bar höher ist als ein Betriebsdruck, für den die Hochdrucksäule (71) eingerichtet ist,

20 - einen Hauptwärmetauscher (6), der dafür eingerichtet ist, einen ersten Anteil und einen zweiten Anteil der auf den Hauptverdichterdruck verdichteten Gesamtluftmenge abzukühlen und Mittel, die dafür eingerichtet sind, diesen ersten und zweiten Anteil der Gesamtluftmenge dem Hauptwärmetauscher (6) warmseitig zuzuführen,

25

- eine Entspannungsmaschine (12), die dafür eingerichtet ist, zumindest den in dem Hauptwärmetauscher (6) abgekühlten ersten Anteil der auf den Hauptverdichterdruck verdichteten Gesamtluftmenge zu entspannen,

30

- Mittel, die dafür eingerichtet sind, zumindest den in dem Hauptwärmetauscher (6) abgekühlten zweiten Anteil der auf den Hauptverdichterdruck verdichteten Gesamtluftmenge zu entspannen, und

- Mittel, die dafür eingerichtet sind, den ersten Anteil und den zweiten Anteil der Gesamtluftmenge nach ihrer Entspannung in das Destillationssäulensystem (7) einzuspeisen,

5 **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Luftzerlegungsanlage für einen ersten und einen zweiten Betriebsmodus in Abhängigkeit von einer Flüssigproduktmenge zumindest eines der Luftzerlegungsanlage in flüssigem Zustand zu entnehmenden Luftprodukts
- 10 eingerichtet ist,

- die Luftzerlegungsanlage eine Generatorturbine (30) aufweist, der ein dritter Anteil der auf den Hauptverdichterdruck verdichteten Gesamtluftmenge in dem zweiten Betriebsmodus in einer größeren Menge als in dem ersten Betriebsmodus zuführbar ist, wobei Mittel vorgesehen sind, die dafür
- 15 eingerichtet sind, den dritten Anteil der Gesamtluftmenge nach der Entspannung in die Atmosphäre abzublasen, und

- zumindest ein flüssiges Luftprodukt der Luftzerlegungsanlage in dem zweiten Betriebsmodus in einer größeren Flüssigproduktmenge als in dem ersten Betriebsmodus entnehmbar ist, und
- 20

- Mittel vorgesehen sind, die dafür eingerichtet sind, den ersten Anteil der Gesamtluftmenge der Entspannungsmaschine (12) höchstens mit einem
- 25 Druck zuzuführen, bei dem dieser dem Hauptwärmetauscher (6) warmseitig zugeführt wird.

11. Luftzerlegungsanlage nach Anspruch 10, die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 eingerichtet ist.

30

12. Luftzerlegungsanlage nach Anspruch 11, die Mittel aufweist, die dafür eingerichtet sind, den dritten Anteil der Gesamtluftmenge in Abhängigkeit von einem Verhältnis der Flüssigproduktmenge zu der Gasproduktmenge einzustellen.

35

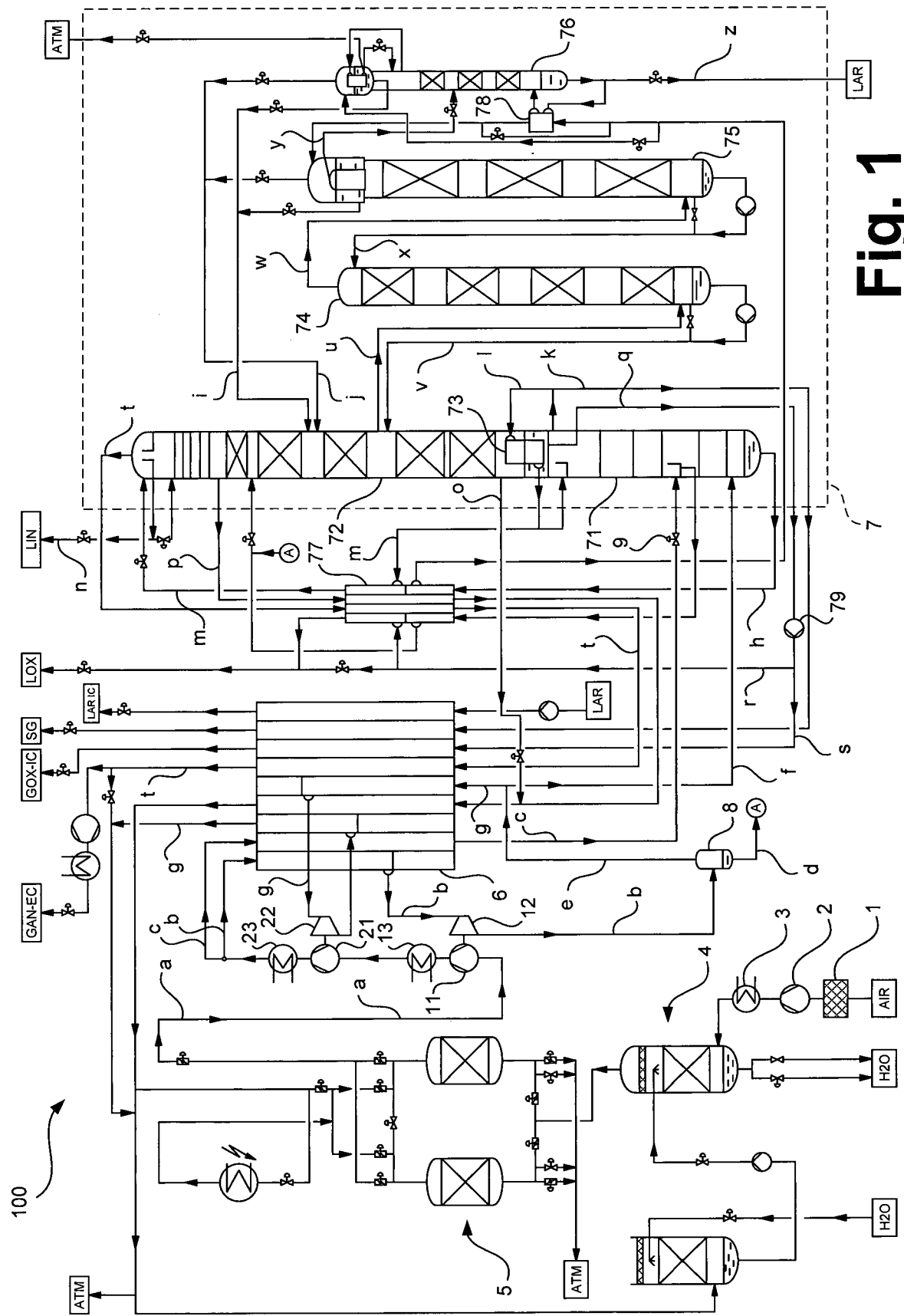


Fig. 1

2/4

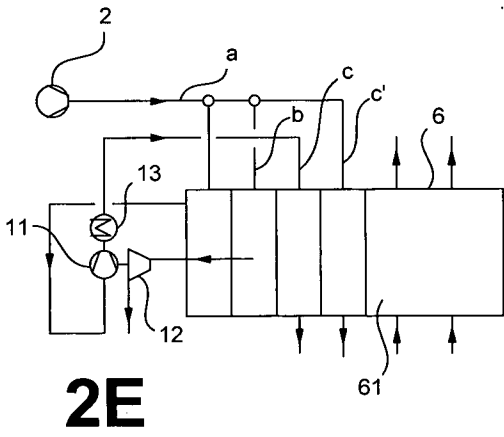
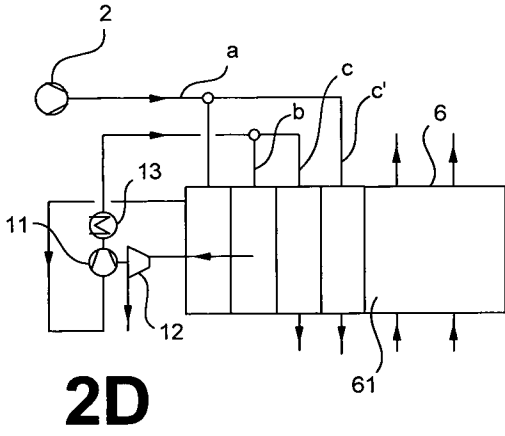
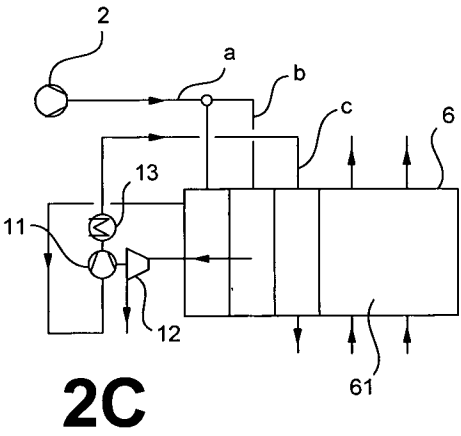
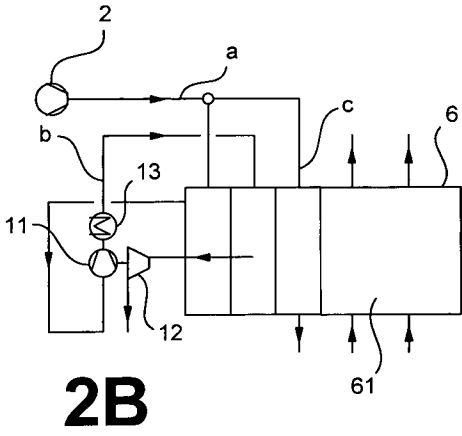
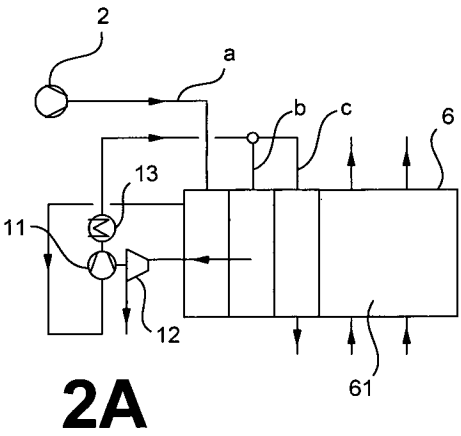
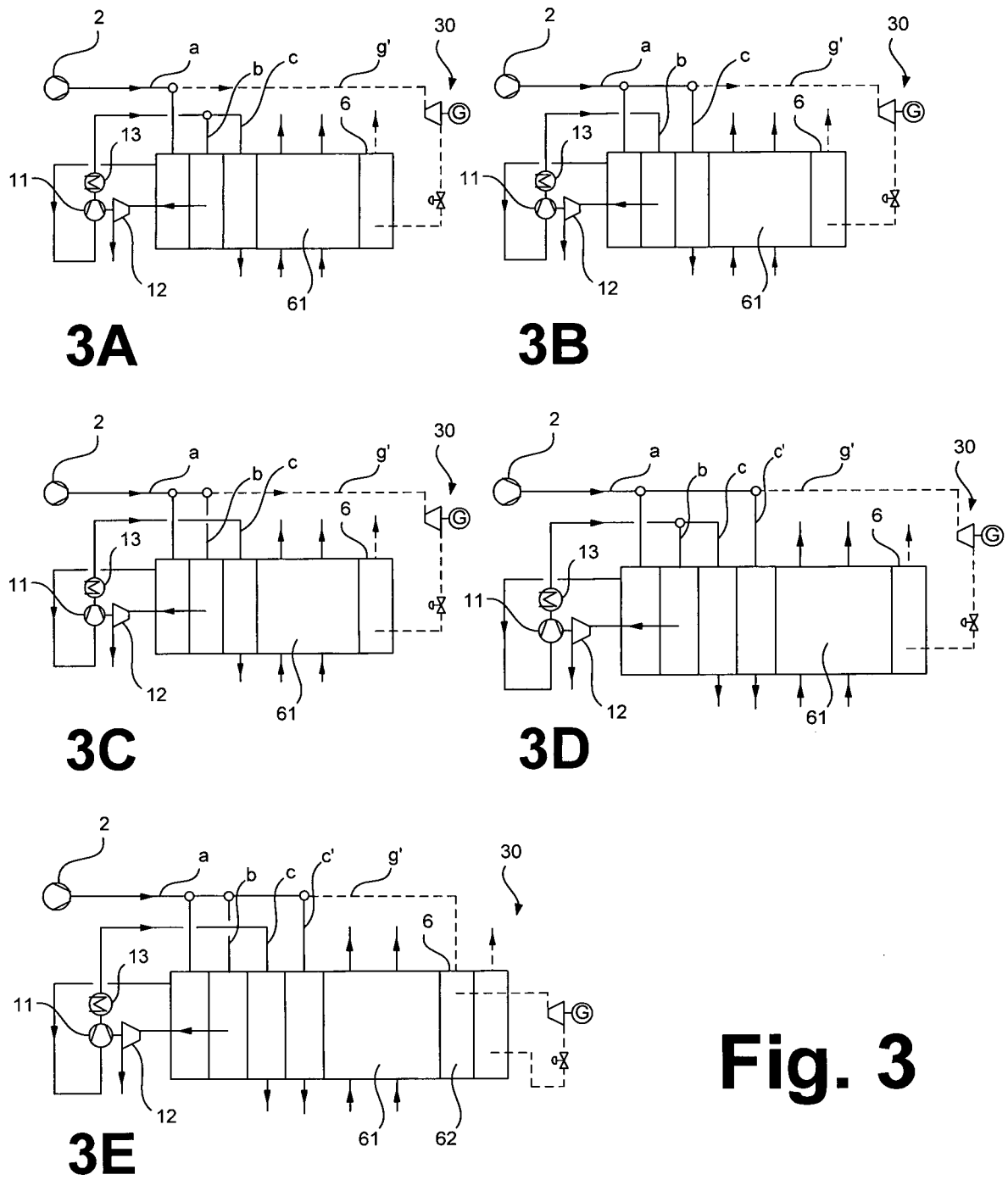


Fig. 2

3/4

**Fig. 3**

4/4

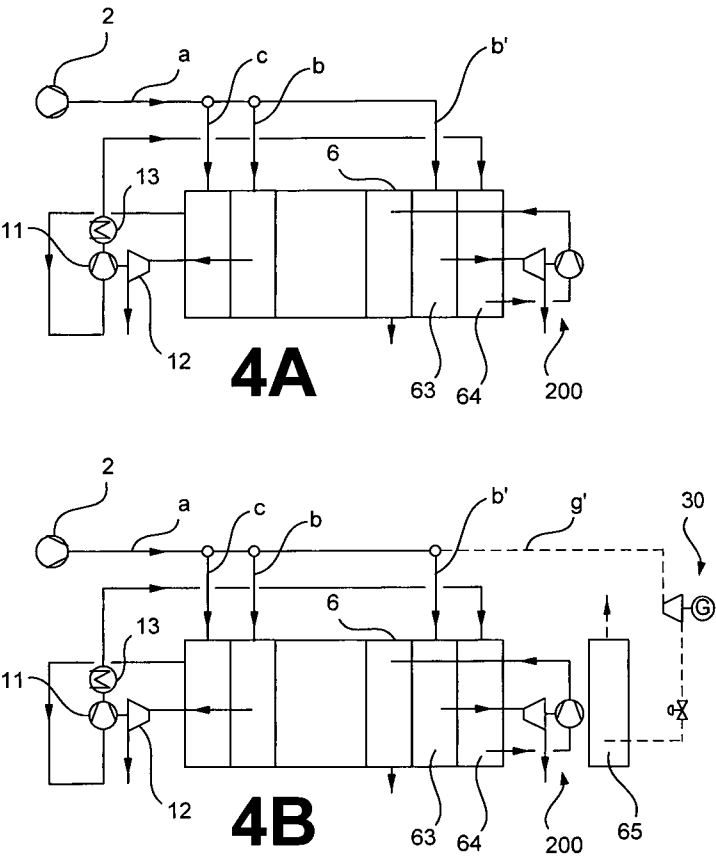


Fig. 4