

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 768 503 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
16.04.1997 Patentblatt 1997/16

(51) Int. Cl.⁶: F25J 3/04

(21) Anmeldenummer: 96116124.7

(22) Anmeldetag: 09.10.1996

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE ES FR GB IT

(30) Priorität: 11.10.1995 DE 19537913

(71) Anmelder: Linde Aktiengesellschaft
65189 Wiesbaden (DE)

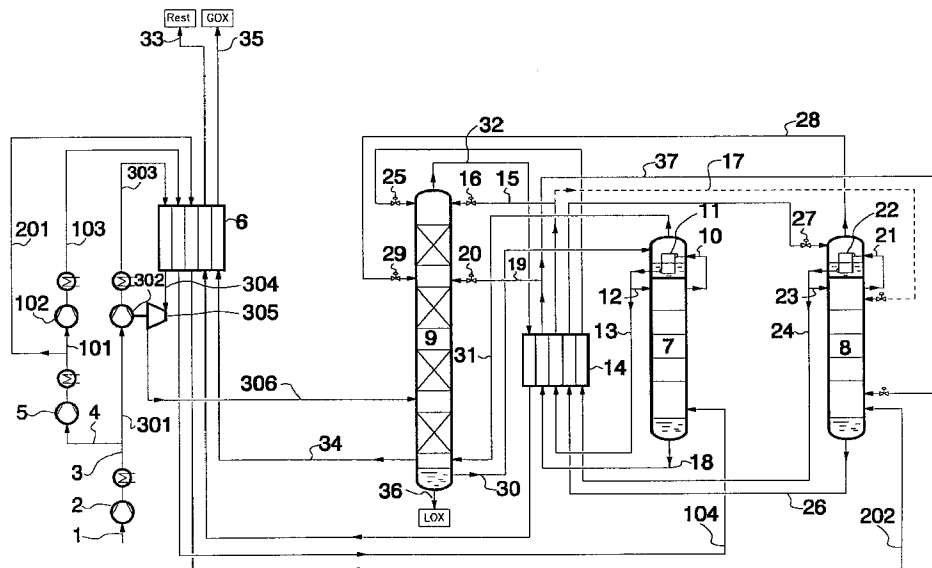
(72) Erfinder: Voit, Jürgen, Dipl.-Phys.
86938 Schondorf a.A. (DE)

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

(54) Dreifachsäulenverfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft

(57) Das Verfahren und die Vorrichtung stellen ein Dreifachsäulensystem dar, das eine Hochdrucksäule (7), eine Mitteldrucksäule (8) und eine Niederdrucksäule (9) aufweist. Einsatzluft (1) wird auf einen ersten Druck verdichtet (2). Ein erster Teil (101, 103, 104) der verdichteten Einsatzluft (3) wird in die Hochdrucksäule (7) eingeleitet, nachdem er auf einen zweiten Druck verdichtet (5, 102) wurde, der mindestens gleich dem Betriebsdruck der Hochdrucksäule (7) ist. Ein zweiter Teil (201, 202) der verdichteten Einsatzluft (3) wird in die Mitteldrucksäule (8) eingespeist. Ein dritter Teil (301, 303, 304) der verdichteten Einsatzluft (3) wird arbeitsleistend entspannt (305) und anschließend in die Niederdrucksäule (9) eingespeist (306). Die Sumpffrak-

tionen (18; 26) aus Hochdrucksäule (7) und Mitteldrucksäule (8) werden mindestens zum Teil in die Niederdrucksäule eingeführt (19, 20; 28, 29). Die stickstoffangereicherten Kopffractionen (10; 21) aus Hochdrucksäule (7) und Mitteldrucksäule (8) werden kondensiert (11; 22). Dabei gewonnenes Kondensat (13; 24) wird als Rücklauf in die Niederdrucksäule (9) eingespeist (15, 16; 25). Der erste Druck ist dabei niedriger als der Betriebsdruck der Mitteldrucksäule (8). Der zweite Teil der Einsatzluft wird von dem ersten Druck auf einen dritten Druck verdichtet (5), der mindestens gleich dem Betriebsdruck der Mitteldrucksäule (8), aber niedriger als der zweite Druck ist.



EP 0 768 503 A2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft in einem Dreifachsäulensystem, das aus einer Hochdrucksäule, einer Mitteldrucksäule und einer Niederdrucksäule besteht, mit den im Patentanspruch 1 angeführten Schritten (a) bis (i).

Ein Dreifachsäulensystem weist mindestens drei Säulen zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung auf. Der Begriff schließt Anlagen und Verfahren ein, die weitere Säulen zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung und/oder zur Gewinnung von anderen Luftbestandteilen wie Edelgasen aufweisen, beispielsweise eine Rohargonsäule. Ein Dreifachsäulenverfahren der oben genannten Art ist aus der DE-A-2903089 bekannt. Die gesamte Einsatzluft wird herauf auf einen ersten Druck verdichtet, der über dem Mitteldrucksäulendruck liegt, und zu einem Teil ohne weitere druckverändernde Maßnahmen in die Mitteldrucksäule eingespeist, zu einem anderen Teil auf einen zweiten Druck weiter verdichtet und in die Hochdrucksäule eingeführt. Der Rest der verdichteten Einsatzluft wird arbeitsleistend entspannt und in die Niederdrucksäule eingeführt. Dieses Verfahren arbeitet jedoch energetisch nicht vollständig optimal.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art mit besonders hohem Wirkungsgrad anzugeben.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß der erste Druck niedriger als der Betriebsdruck der Mitteldrucksäule ist und daß der zweite Teil der Einsatzluft von dem ersten Druck auf einen dritten Druck verdichtet wird, der mindestens gleich dem Betriebsdruck der Mitteldrucksäule, aber niedriger als der zweite Druck ist.

Die Gesamtmenge der Einsatzluft wird also nur auf einen relativ niedrigen Druck verdichtet, der geringer als der in der Mitteldrucksäule herrschende Druck ist. Der in die Mitteldrucksäule einzuführende erste Luftteil muß zwar in einem weiteren Verdichter entsprechend höher verdichtet werden; derjenige Teil der Einsatzluft, der ohnehin direkt unter die bei geringerem Druck arbeitende Niederdrucksäule eingespeist wird, braucht jedoch gar nicht erst auf den hohen Druck der Hochdrucksäule gebracht zu werden. Insbesondere dann, wenn der Kältebedarf der Anlage relativ gering ist, weil beispielsweise ein geringer Teil der Produkte flüssig gewonnen wird oder es sich um eine reine Gasanlage handelt, ergibt sich ein besonders niedriger Energieverbrauch.

Dabei ist es günstig, wenn der dritte Teil der Einsatzluft stromaufwärts der arbeitsleistenden Entspannung nachverdichtet wird, um die Druckdifferenz bei der arbeitsleistenden Entspannung zu erhöhen. Der Druck beim Eintritt in die arbeitsleistende Entspannung liegt in diesem Fall vorzugsweise zwischen dem ersten Druck und dem Druck der Mitteldrucksäule.

In diesem Fall sollte die bei der arbeitsleistenden Entspannung des dritten Luftteils gewonnene Energie oder ein Teil davon zur Nachverdichtung des dritten Luftteils verwendet werden. Vorzugsweise wird der Nachverdichter ausschließlich durch diese intern erzeugte mechanische Energie angetrieben, so daß er keine von außen eingebrachte Energie verbraucht. Nachverdichter und Entspannungsmaschine sind beispielsweise über eine gemeinsame Welle mechanisch gekoppelt.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann die Hochdrucksäule unter einem relativ niedrigen Druck betrieben werden, der vorzugsweise bei 4,8 bar oder weniger liegt. Damit ergibt sich ein besonders geringer Aufwand beim Verdichten der Einsatzluft.

Die Niederdrucksäule wird vorzugsweise unter dem niedrigstmöglichen Druck betrieben. Dieser ist dadurch bestimmt, daß das Kopfprodukt der Niederdrucksäule - gegebenenfalls nach Durchgang durch einen oder mehrere Wärmetauscher - unter im wesentlichen Atmosphärendruck aus dem Verfahren entfernt werden kann; falls dieses Kopfprodukt als Regeneriergas in einer Reinigungseinrichtung (z.B. einer Molekularsiebanlage) eingesetzt wird, muß der Druck der Niederdrucksäule auch deren Betrieb ermöglichen.

Es ist ferner günstig, wenn ein Teil der ersten sauerstoffangereicherten Sumpffraktion aus der Hochdrucksäule in die Mitteldrucksäule eingeleitet wird. Damit wird ein Teil des Sumpffproduktes aus der Hochdrucksäule weiter vorzerlegt, und damit eine größere Menge von stickstoffangereicherter Fraktion am Kopf der Mitteldrucksäule gewonnen, die als Rücklaufflüssigkeit in der Niederdrucksäule zur Verfügung steht. Dies bewirkt eine weitere Verbesserung der Rekifikation in der Niederdrucksäule.

Die Sumpffraktion aus der Hochdrucksäule wird vorzugsweise an einer Zwischenstelle in die Mitteldrucksäule eingeführt, das heißt an einer Stelle, die mindestens einen praktischen oder theoretischen Boden oberhalb des Sumpfes der Mitteldrucksäule und insbesondere mindestens einen praktischen oder theoretischen Boden oberhalb der Stelle der Einspeisung des zweiten Luftteils in die Mitteldrucksäule liegt.

Die Erfindung betrifft außerdem eine Vorrichtung zur Tieftemperaturzerlegung von Luft gemäß den Patentansprüchen 8 bis 11.

Mit dem Verfahren und der Vorrichtung gemäß der Erfindung kann auch reiner Stickstoff produziert werden, wenn am Kopf der Niederdrucksäule zusätzlich ein üblicher Reinstickstoffabschnitt angeordnet wird. Auch die Argongewinnung ist möglich, wenn der Niederdrucksäule auf bekannte Weise (siehe beispielsweise EP-B-377117) eine Argonrekifikation nachgeschaltet ist. Ebenso können weitere Edelgase in bekannter Weise erzeugt werden.

Die Erfindung sowie weitere Einzelheiten der Erfindung werden im folgenden anhand eines in der Zeichnung dargestellten bevorzugten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Einsatzluft 1 wird in einem Hauptluftverdichter 2 auf einen ersten Druck verdichtet. Die verdichtete Einsatzluft 3 wird in einen ersten Teilstrom 101, einen zweiten Teilstrom 201 und einen dritten Teilstrom 301 aufgeteilt. In den Verdichtern 5 und 102 werden der erste Teilstrom auf einen zweiten Druck und der zweite Teilstrom auf einen zwischen dem ersten und dem zweiten Druck liegenden dritten Druck gebracht. Dabei werden der erste Teilstrom und der zweite Teilstrom zunächst gemeinsam (4) im Verdichter 5 auf den dritten Druck und anschließend der erste Teilstrom 101 alleine weiter im Verdichter 102 auf den zweiten Druck komprimiert. Alternativ dazu können der erste und der zweite Teilstrom auch unabhängig voneinander verdichtet werden.

Wenn der Kältebedarf der Anlage und/oder die Produktreinheit relativ hoch sind, kann abweichend von der Darstellung in der Zeichnung der dritte Teilstrom, der der Entspannungsmaschine 305 beziehungsweise dem Nachverdichter 302 zugeführt wird, stromabwärts eines der Verdichter 5 oder 102 abgezweigt werden. Durch den damit erreichten höheren Eintrittsdruck beim Entspannen kann die Kälteleistung erhöht und/oder die Menge der direkt in die Niederdrucksäule eingeblasenen Luft verringert werden.

Der unter dem zweiten Druck stehende erste Teilstrom 103 und der unter dem dritten Druck stehende zweite Teilstrom 201 werden in einem Hauptwärmetauscher 6 gegen Produktströme abgekühlt und in die Hochdrucksäule 7 beziehungsweise in die Mitteldrucksäule 8 eingespeist (104 bzw. 202). Die Hochdrucksäule 7 wird unter einem Druck von 4,5 bis 5,5 bar, vorzugsweise 4,6 bis 4,8 bar betrieben, die Mitteldrucksäule 8 steht unter 2,5 bis 3,5 bar, vorzugsweise 2,8 bis 3,0 bar.

Der erste Druck (in Leitung 3 hinter dem Hauptluftverdichter 2) ist deutlich niedriger als der Hochdrucksäulendruck; die Differenz beträgt mindestens 2,5 bar, vorzugsweise 3,0 bis 3,2 bar. Der zweite Druck liegt geringfügig über dem Hochdrucksäulendruck (beispielsweise etwa 0,1 bar über dem Druck an der Einspeisestelle in die Hochdrucksäule), um den Druckabfall im Hauptwärmetauscher 6 und in den Leitungen 103 und 104 auszugleichen. Analog dazu liegt der dritte Druck (stromabwärts des Verdichters 5) etwas oberhalb des Drucks der Mitteldrucksäule, um die Einführung des zweiten Teilstroms 201, 202 in die Mitteldrucksäule 8 zu gewährleisten.

Der dritte Teilstrom 301 wird gegebenenfalls in einem Nachverdichter 302 auf einen vierten Druck nachverdichtet, der zwischen dem ersten Druck und dem Betriebsdruck der Mitteldrucksäule liegen kann und beispielsweise 1,5 bis 2,5 bar höher als der erste Druck ist. (Für den Fall, daß der dritte Teilstrom stromabwärts eines der Verdichter 5 oder 102 abgezweigt wird, ist der vierte Druck entsprechend höher, das heißt beispielsweise höher als der Druck der Mitteldrucksäule oder sogar höher als der Druck der Hochdrucksäule; er kann in diesem Fall bis zu 8 bar oder mehr betragen.) Über Leitung 303 geht es zum Hauptwärmetauscher 6 und von dessen kaltem Ende aus weiter (304) zur Entspannungsmaschine 305. Die arbeitsleistend entspannte Luft 306 wird auf mittlerer Höhe in die Niederdrucksäule 9 eingeleitet.

Die Luft wird hinter jedem Verdichter 2, 5, 102, 302 in indirektem Wärmeaustausch mit Kühlwasser abgekühlt, wie durch die in der Zeichnung dargestellten Nachkühler angedeutet ist. Bei mehrstufigen Verdichtern wird vorzugsweise zwischen zwei Stufen eine Zwischenkühlung durchgeführt.

Bei der Rektifikation in der Hochdrucksäule 7 fallen eine erste stickstoffangereicherte Kopffraktion als Kopfgas und eine erste sauerstoffangereicherte Fraktion als Sumpfflüssigkeit an. Kopfgas 10 wird in einem ersten Kondensator-Verdampfer 11 kondensiert und zu einem Teil 12 in die Hochdrucksäule und zu einem anderen Teil 13 - gegebenenfalls nach Unterkühlung im Gegenströmer 14 - über Leitung 15 in die Niederdrucksäule 9 eingedrosselt (16), deren Betriebsdruck 1,1 bis 1,5 bar, vorzugsweise 1,2 bis 1,4 bar, liegt. Ein Teil der kondensierten stickstoffangereicherten Fraktion 13 aus der Hochdrucksäule kann über die optionale Leitung 17 zum Kopf der Mitteldrucksäule 8 geführt werden. Die Sumpfflüssigkeit der Hochdrucksäule wird über Leitung 18 ebenfalls nach optionaler Unterkühlung (14) in die Niederdrucksäule 9 entspannt (19, 20). Die Einspeisestelle liegt oberhalb derjenigen der arbeitsleistend entspannten Luft 306. Vorzugsweise wird ein Teil 37 (10 bis 30 %, vorzugsweise 15 bis 20 %) der Hochdrucksäulen-Sumpfflüssigkeit 18 in die Mitteldrucksäule geführt. Die Einspeisestelle liegt mindestens einen praktischen oder theoretischen Boden, vorzugsweise zwei bis fünf theoretische Böden oberhalb der Einspeisung des zweiten Luftteils 202.

In der Mitteldrucksäule 8 werden eine zweite stickstoffangereicherte Kopffraktion und eine zweite sauerstoffangereicherte Sumpfflüssigkeit gewonnen. Das Kopfgas 21 wird in einem zweiten Kondensator-Verdampfer 22 kondensiert und zu einem ersten Teil 23 in die Mitteldrucksäule und zu einem zweiten Teil 24 - gegebenenfalls nach Unterkühlung im Gegenströmer 14 - in die Niederdrucksäule 9 eingedrosselt (25). Die Sumpfflüssigkeit der Mitteldrucksäule wird über Leitung 26 ebenfalls nach optionaler Unterkühlung (14) in den Verdampfungsraum des zweiten Kondensator-Verdampfers 22 entspannt (27). Der verdampfte Strom 28 wird in die Niederdrucksäule 9 eingeführt (29). Die Einspeisestelle beispielsweise auf derselben Höhe wie diejenige der Sumpfflüssigkeit aus der Hochdrucksäule oder etwas darüber.

Dampf 31 für die Rektifikation in der Niederdrucksäule 9 wird durch Verdampfen von Sumpfflüssigkeit 30 im ersten Kondensator-Verdampfer 11 erzeugt. Der Kondensator-Verdampfer 11 kann abweichend von der Darstellung im Sumpf der Niederdrucksäule 9 angeordnet sein. Als Kopfprodukt verläßt Stickstoff 32 die Niederdrucksäule 9, wird in den Wärmetauschern 14 und 6 auf etwa Umgebungstemperatur angewärmt und bei 33 abgezogen. Gasförmiger Produktsauerstoff 35 wird über Leitung 34 entnommen und ebenfalls im Hauptwärmetauscher 6 erwärmt. Das Sauerstoffprodukt oder ein Teil davon kann bei Bedarf flüssig entnommen werden (Leitung 36). Für die Erzeugung eines Hochdruckprodukts kann der flüssig entnommene Sauerstoff auf Druck gebracht und verdampft werden (Innenverdichtung).

Die Reinigung der Einsatzluft ist in der Zeichnung nicht dargestellt. Sie kann durch jede der bekannten Methoden erfolgen, beispielsweise in einem umschaltbaren Wärmetauscher (Revex) oder in einer oder mehreren Molekularsiebanlagen. Im letzteren Fall ist es möglich, die gesamte Einsatzluft (Leitung 3) gemeinsam der Reinigung zu unterwerfen, die drei Teilströme 103, 201, 303 in getrennten Anlagen zu behandeln oder auch den ersten und zweiten Teilstrom gemeinsam durch ein unmittelbar stromabwärts des Nachkühlers des Verdichters 5 angeordnetes Molekularsieb zu schicken. Für den Fall, daß abweichend von der Darstellung in der Zeichnung der dritte Teilstrom hinter einem der Verdichter 5 oder 102 abgenommen und dem Nachverdichter 302 zugeleitet wird, können aller drei Teilströme oder zumindest der erste und der dritte Teilstrom gemeinsam gereinigt werden.

In dem Ausführungsbeispiel werden die Stoffaustauschelemente in der Hochdrucksäule und in der Mitteldrucksäule durch Destillierböden gebildet, diejenigen in der Niederdrucksäule durch geordnete Packung. Grundsätzlich können jedoch bei der Erfindung in jeder der Säulen konventionelle Destillierböden, Füllkörper (ungeordnete Packung) und/oder geordnete Packung eingesetzt werden. Auch Kombinationen verschiedenartiger Elemente in einer Säule sind möglich. Wegen des geringen Druckverlusts werden geordnete Packungen in allen Säulen, insbesondere in der Niederdrucksäule, bevorzugt. Diese verstärken die energiesparende Wirkung der Erfindung weiter.

Die untenstehenden Tabellen zeigen zwei Zahlenbeispiele für den in der Zeichnung dargestellten Prozeß, Tabelle 1 für die Gewinnung von reinem Sauerstoff (99,5 %) und Tabelle 2 für die Gewinnung von Sauerstoff mittlerer Reinheit (95,0 %).

Tabelle 1

GOX-Reinheit: 99,5%

Gesamtleistungsaufnahme der Verdichter: 13030 kW

Zeichn.	Menge	Druck	Temperatur	Dampfanteil	Anteil N2	Anteil Ar	Anteil O2
	[mol/s]	[bar]	[K]	$x \leq 1,0$	[mol-%]	[mol-%]	[mol-%]
1	2985,0	1,00	295,0	1,0	78,12	0,93	20,95
301	520,0	1,63	298,0	1,0	78,12	0,93	20,95
4	2465,0	1,63	298,0	1,0	78,12	0,93	20,95
303	520,0	1,74	298,0	1,0	78,12	0,93	20,95
304	520,0	1,64	98,1	1,0	78,12	0,93	20,95
306	520,0	1,21	90,9	1,0	78,12	0,93	20,95
101	2110,8	3,12	298,0	1,0	78,12	0,93	20,95
201	354,2	3,12	298,0	1,0	78,12	0,93	20,95
103	2110,8	4,84	298,0	1,0	78,12	0,93	20,95
104	2110,8	4,74	101,2	1,0	78,12	0,93	20,95
202	354,2	3,02	97,8	1,0	78,12	0,93	20,95
34	620,0	1,22	92,0	1,0	0,00	0,50	99,50
35	620,0	1,12	297,9	1,0	0,00	0,50	99,50
36	5,0	1,22	92,0	0,0	0,00	0,32	99,68
28	342,1	1,22	86,6	1,0	55,44	1,44	43,12
24	197,8	2,90	87,6	0,0	99,33	0,46	0,21
vor 25	197,8	2,90	87,6	0,0	99,33	0,46	0,21
26	342,1	3,02	92,2	0,0	55,44	1,44	43,12
vor 27	342,1	3,02	92,2	0,0	55,44	1,44	43,12
13	1063,1	4,63	93,0	0,0	99,46	0,45	0,09
17	10,7	4,53	89,2	0,0	99,46	0,45	0,09
15	1052,4	4,53	89,2	0,0	99,46	0,45	0,09
18	1047,7	4,74	97,8	0,0	56,46	1,42	42,12
37	175,0	4,64	81,1	0,0	56,46	1,42	42,12
19	872,7	4,64	81,1	0,0	56,46	1,42	42,12
32	2360,0	1,20	79,0	1,0	98,81	1,05	0,14
33	2360,0	1,00	297,8	1,0	98,81	1,05	0,14

Tabelle 2

GOX-Reinheit: 95,0%

Gesamtleistungsaufnahme der Verdichter: 10018 kW

Zeichn.	Menge	Druck	Temperatur	Dampfanteil	Anteil N2	Anteil Ar	Anteil O2
	[mol/s]	[bar]	[K]	$x \leq 1,0$	[mol-%]	[mol-%]	[mol-%]
1	2850,0	1,00	295,0	1,0	78,12	0,93	20,95
301	953,2	1,49	298,0	1,0	78,12	0,93	20,95
4	1896,8	1,49	298,0	1,0	78,12	0,93	20,95
303	953,2	1,55	298,0	1,0	78,12	0,93	20,95
304	953,2	1,45	97,9	1,0	78,12	0,93	20,95
306	953,2	1,21	93,5	1,0	78,12	0,93	20,95
101	1294,6	3,11	298,0	1,0	78,12	0,93	20,95
201	602,2	3,11	298,0	1,0	78,12	0,93	20,95
103	1294,6	4,74	298,0	1,0	78,12	0,93	20,95
104	1294,6	4,64	98,6	1,0	78,12	0,93	20,95
202	602,2	3,01	97,3	1,0	78,12	0,93	20,95
34	620,0	1,22	91,8	1,0	2,55	2,45	95,00
35	620,0	1,12	297,9	1,0	2,55	2,45	95,00
36	5,0	1,22	91,8	0,0	0,67	1,62	97,71
28	575,6	1,22	86,6	1,0	55,64	1,44	42,92
24	320,9	2,89	87,6	0,0	99,18	0,46	0,36
vor 25	320,9	2,89	87,6	0,0	99,18	0,46	0,36
26	575,6	3,01	92,1	0,0	55,64	1,44	42,92
vor 27	575,6	3,01	92,1	0,0	55,64	1,44	42,92
13	652,0	4,52	92,8	0,0	99,24	0,46	0,30
17	3,1	4,42	81,0	0,0	99,24	0,46	0,30
15	648,9	4,42	81,0	0,0	99,24	0,46	0,30
18	642,6	4,64	97,5	0,0	56,69	1,41	41,90
37	291,2	4,54	80,1	0,0	56,69	1,41	41,90
19	351,4	4,54	80,1	0,0	56,69	1,41	41,90
32	2225,0	1,20	79,0	1,0	99,35	0,51	0,14
33	2225,0	1,00	297,8	1,0	99,35	0,51	0,14

Patentansprüche

1. Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft in einem Dreifachsäulensystem, das aus einer Hochdrucksäule (7), einer Mitteldrucksäule (8) und einer Niederdrucksäule (9) besteht, mit folgenden Schritten:

- (a) Verdichtung (2) von Einsatzluft (1) auf einen ersten Druck
- (b) Einleitung eines ersten Teils (101, 103, 104) der verdichteten Einsatzluft (3) in die Hochdrucksäule (7), wobei der erste Teil der Einsatzluft von dem ersten Druck auf einen zweiten Druck verdichtet (5, 102) wird, der mindestens gleich dem Betriebsdruck der Hochdrucksäule (7) ist
- (c) Einleitung eines zweiten Teils (201, 202) der verdichteten Einsatzluft (3) in die Mitteldrucksäule (8)
- (d) arbeitsleistende Entspannung (305) eines dritten Teils (301, 303, 304) der verdichteten Einsatzluft (3)
- (e) Einleitung der arbeitsleistend entspannten Einsatzluft (306) in die Niederdrucksäule (9)
- (f) Einleitung (19) mindestens eines Teils einer ersten sauerstoffangereicherten Sumpffraktion (18) aus der Hochdrucksäule (7) in die Niederdrucksäule (9)
- (g) Kondensation (11) einer ersten stickstoffangereicherten Kopffraktion (10) aus der Hochdrucksäule (7) und Einleitung von dabei gewonnenem Kondensat (13, 15) als Rücklauf in die Niederdrucksäule (9)
- (h) Einleitung (28) mindestens eines Teils einer zweiten sauerstoffangereicherten Sumpffraktion (26) aus der Mitteldrucksäule (8) in die Niederdrucksäule (9)
- (i) Kondensation (22) einer zweiten stickstoffangereicherten Kopffraktion (21) aus der Mitteldrucksäule (8) und Einleitung (25) von dabei gewonnenem Kondensat (24) als Rücklauf in die Niederdrucksäule (9)

dadurch gekennzeichnet, daß

- (j) der erste Druck niedriger als der Betriebsdruck der Mitteldrucksäule (8) ist und
- (k) der zweite Teil der Einsatzluft von dem ersten Druck auf einen dritten Druck verdichtet (5) wird, der mindestens gleich dem Betriebsdruck der Mitteldrucksäule (8), aber niedriger als der zweite Druck ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der dritte Teil (301) der Einsatzluft stromaufwärts der arbeitsleistenden Entspannung (305) nachverdichtet (302) wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei der arbeitsleistenden Entspannung (305) des dritten Luftteils (304) gewonnene Energie zur Nachverdichtung (302) des dritten Luftteils (301) verwendet wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Betriebsdruck am Kopf der Hochdrucksäule etwa 4,8 bar oder weniger beträgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Niederdrucksäule (9) unter einem nur knapp überatmosphärischen Druck betrieben wird, der ausreicht, um die Kopffraktion (32, 33) der Niederdrucksäule (9) - gegebenenfalls nach Durchgang durch einen oder mehrere Wärmetauscher (14, 6) - unter im wesentlichen Atmosphärendruck aus dem Verfahren zu entfernen und/oder als Regeneriergas in einer Reinigungseinrichtung einzusetzen.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Teil (37) der ersten sauerstoffangereicherten Sumpffraktion (18) aus der Hochdrucksäule (7) in die Mitteldrucksäule (8) eingeleitet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Teil (37) der ersten sauerstoffangereicherten Sumpffraktion aus der Hochdrucksäule an einer Zwischenstelle in die Mitteldrucksäule (8) eingeführt wird.
8. Vorrichtung zur Tieftemperaturzerlegung von Luft in einem Dreifachsäulensystem, das eine Hochdrucksäule (7), eine Mitteldrucksäule (8) und eine Niederdrucksäule (9) aufweist, mit

- (a) einem Hauptluftverdichter (2) zur Verdichtung von Einsatzluft (1) auf einen ersten Druck,
- (b) mit einer ersten Teilstromleitung (101, 103, 104), die mit dem Austritt des Hauptluftverdichters (2) und mit der Hochdrucksäule (7) verbunden ist, wobei die erste Teilstromleitung durch Mittel (5, 102) zur Verdichtung von Einsatzluft von dem ersten Druck auf einen zweiten Druck, der mindestens gleich dem Betriebsdruck der Hochdrucksäule (7) ist, führt
- (c) mit einer zweiten Teilstromleitung (201, 202), die mit dem Austritt des Hauptluftverdichters (2) und mit der Mitteldrucksäule (8) verbunden ist,
- (d) mit einer dritten Teilstromleitung (301, 303, 304, 306), die mit dem Austritt des Hauptluftverdichters (2) verbunden ist und durch eine Entspannungsmaschine (305) zur Niederdrucksäule (9) führt,
- (e) mit Mitteln zur Einleitung (13, 15, 16; 24, 25) von Flüssigkeit vom Kopf der Hochdrucksäule (7) und vom Kopf der Mitteldrucksäule (8) in die Niederdrucksäule (9) sowie zur Einleitung (18, 19, 20; 26, 27, 28, 29) von Sumpfflüssigkeit aus der Hochdrucksäule (7) und aus der Mitteldrucksäule (8) in die Niederdrucksäule (9),

gekennzeichnet durch

(f) Mittel (5) zur Verdichtung von Einsatzluft (4) von dem ersten Druck auf einen dritten Druck, der mindestens gleich dem Betriebsdruck der Mitteldrucksäule (8) ist, deren Eintritt mit dem Austritt des Hauptluftverdichters (2) und deren Austritt mit der zweiten Teilstromleitung (201, 202) verbunden ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 10, **gekennzeichnet durch** einen Nachverdichter (302), der in der dritten Teilstromleitung (301, 303) stromaufwärts der Entspannungsmaschine (305) angeordnet ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **gekennzeichnet durch** Mittel zur Übertragung von mechanischer Energie von der Entspannungsmaschine (305) auf den Nachverdichter (302).

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **gekennzeichnet durch** Mittel (37) zur Einleitung von Sumpfflüssigkeit aus der Hochdrucksäule (7) in die Mitteldrucksäule (8).

