



(10) **DE 10 2011 113 671 A1** 2013.03.21

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 113 671.5**

(22) Anmeldetag: **20.09.2011**

(43) Offenlegungstag: **21.03.2013**

(51) Int Cl.: **F25J 3/04 (2011.01)**

(71) Anmelder:

Linde AG, 80331, München, DE

(72) Erfinder:

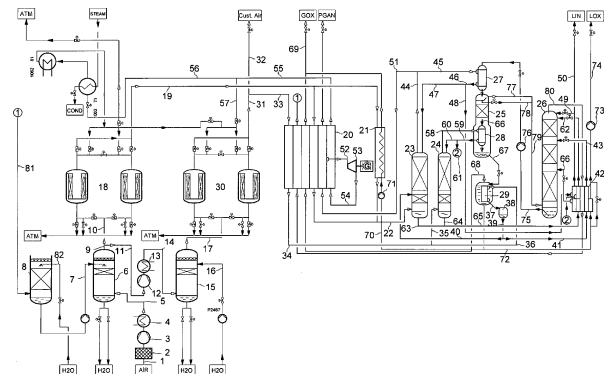
**Rathbone, Thomas, Dr., KY1 3DD, Kircaldy, GB;
Goloubev, Dimitri, 80804, München, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

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

(57) Zusammenfassung: Das Verfahren und die Vorrichtung dienen zur Tieftemperaturzerlegung von Luft in einem Destilliersäulen-System zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung, das eine erste Hochdrucksäule (23) und eine Niederdrucksäule (25, 26) aufweist sowie drei Kondensator-Verdampfer, nämlich einen Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer (27), einen Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer (28) und einen Nebenkondensator (29; 228). Ein erster Einsatzluftstrom wird in einem Hauptwärmetauscher (20, 21) abgekühlt. Der abgekühlte erste Einsatzluftstrom (22) wird unter einem ersten Druck in die erste Hochdrucksäule (23) eingeführt. In dem Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer (27) wird gasförmiger Kopfstickstoff (44, 45) aus der ersten Hochdrucksäule (23) kondensiert und eine flüssige Zwischenfraktion (75) aus der Niederdrucksäule (25, 26) verdampft. Mindestens ein Teil (47) des in dem Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer (27) kondensierten Kopfstickstoffs (46) wird als Rücklaufflüssigkeit auf die erste Hochdrucksäule (23) aufgegeben. Mindestens ein Teil der in dem Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer (27) verdampften Zwischenfraktion wird als aufsteigendes Gas in die Niederdrucksäule (25, 26) eingeleitet (77, 79). Ein Teil der Sumpfflüssigkeit (66) der Niederdrucksäule (25, 26) wird in dem Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer (28) in indirektem Wärmeaustausch mit einem kondensierenden Heizfluid (58) verdampft. Ein nicht verdampfter Teil (67) der Sumpfflüssigkeit (66) der Niederdrucksäule (25, 26) wird in dem Nebenkondensator (29; 228) mindestens teilweise verdampft. Mindestens ein Teil der in dem Nebenkondensator (29; 228) verdampften Flüssigkeit (68) wird als gasförmiges Sauerstoffprodukt (69) gewonnen.

Das Destilliersäulen-System zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung weist außerdem eine zweite Hochdrucksäule (24) auf. Ein zweiter Einsatzluftstrom (35) wird in dem Hauptwärmetauscher (20, 21) abgekühlt und anschließend unter einem zweiten Druck, der höher ist als der erste Druck, in die zweite Hochdrucksäule (24) eingeleitet. Mindestens ein Teil des Kopfgases (58) der zweiten Hochdrucksäule (24) wird als Heizfluid in dem Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer (28) eingesetzt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Als "Kondensator-Verdampfer" wird ein Wärmetauscher bezeichnet, in dem ein erster kondensierender Fluidstrom in indirekten Wärmeaustausch mit einem zweiten verdampfenden Fluidstrom tritt. Jeder Kondensator-Verdampfer weist einen Verflüssigungsraum und einen Verdampfungsraum auf, die aus Verflüssigungspassagen beziehungsweise Verdampfungspassagen bestehen. In dem Verflüssigungsraum wird die Kondensation (Verflüssigung) eines ersten Fluidstroms durchgeführt, in dem Verdampfungsraum die Verdampfung eines zweiten Fluidstroms. Verdampfungs- und Verflüssigungsraum werden durch Gruppen von Passagen gebildet, die untereinander in Wärmeaustauschbeziehung stehen.

[0003] Ein Kondensator-Verdampfer kann beispielsweise als Fallfilm- oder Badverdampfer ausgebildet sein. Bei einem "Fallfilmverdampfer" strömt das zu verdampfende Fluid von oben nach unten durch den Verdampfungsraum und wird dabei teilweise verdampft. Bei einem "Badverdampfer" (gelegentlich auch "Umlaufverdampfer" oder Thermosiphon-Verdampfer" genannt) steht der Wärmetauscherblock in einem Flüssigkeitsbad des zu verdampfenden Fluids. Dieses strömt mittels des Thermosiphon-Effekts von unten nach oben durch die Verdampfungspassagen und tritt oben als Zwei-Phasen-Gemisch wieder aus. Die verbleibende Flüssigkeit strömt außerhalb des Wärmetauscherblocks in das Flüssigkeitsbad zurück. (Bei einem Badverdampfer kann der Verdampfungsraum sowohl die Verdampfungspassagen als auch den Außenraum um den Wärmetauscherblock umfassen.)

[0004] Die Kondensator-Verdampfer für die Niederdrucksäule (der Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer und der Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer) können im Inneren der Niederdrucksäule angeordnet sein oder einem oder mehreren separaten Behältern.

[0005] Die Hochdrucksäule und die Niederdrucksäule bilden jeweils eine Trennsäule im verfahrenstechnischen Sinne. Sie sind regelmäßig in jeweils einem Behälter angeordnet. Alternativ kann jede Säule auf zwei oder mehrere Behälter verteilt angeordnet sein, die entsprechend verbunden sind (zum Beispiel "geteilte Niederdrucksäule" wie aus DE 1000997 d P bekannt).

[0006] Der Einsatz für den Nebenkondensator wird entweder durch einen Teil der Sumpfflüssigkeit der Niederdrucksäule gebildet, die auch in den Verdampfungsraum des Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer

fer eintritt; diese Verfahrensführung wird regelmäßig gewählt, wenn der Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer als Badverdampfer ausgebildet ist. Alternativ wird – zum Beispiel beim Einsatz eines Fallfilmverdampfers – die Sumpfflüssigkeit der Niederdrucksäule, die von dem untersten Stoffaustauschelement abläuft, in den Fallfilmverdampfer eingeführt, und der nicht verdampfte Anteil der Niederdrucksäulen-Sumpfflüssigkeit, der unten aus dem Niederdrucksäule austritt, wird mindestens teilweise dem Nebenkondensator zugeführt.

[0007] Bei einem klassischen Verfahren mit zwei Kondensator-Verdampfern für die Niederdrucksäule wird der Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer mit einem Luftstrom beheizt; dies ist ungünstig für die Trennleistung, weil ein Teil der Luft vorverflüssigt wird und deshalb nicht mehr an der Vortrennung in der Hochdrucksäule teilnimmt. Aus US 2008115531 A1 ist ein Nebenkondensator-Verfahren der eingangs genannten Art mit zwei Kondensator-Verdampfern für die Niederdrucksäule bekannt, bei dem eine solcher Luftstrom unter erhöhtem Druck nicht benötigt wird. Stattdessen wird Stickstoff aus der Hochdrucksäule in einem Kaltverdichter auf einen erhöhten Druck gebracht und als Heizmedium im Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer (und im Nebenkondensator) eingesetzt. Der Einsatz eines Kaltverdichters ist jedoch immer mit einem Wärmeeintrag auf niedrigem Temperaturniveau verbunden, der grundsätzlich energetisch ungünstig ist.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein derartiges Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung so zu gestalten, dass sie energetisch besonders günstig zu betreiben sind.

[0009] Diese Aufgabe wird dadurch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst.

[0010] Bei dem Verfahren der Erfindung kann auf einen Kaltverdichter verzichtet werden und es wird auch keine Luft im Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer vorverflüssigt. Der Verflüssigungsraum des Niederdrucksäulen-Sumpfordampfers wird dabei unter etwa dem Druck des Kopfs der zweiten Hochdrucksäule betrieben; jedenfalls wird das Kopf-gas der zweiten Hochdrucksäule vor der Einleitung in den Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer nicht verdichtet, sondern tritt vorzugsweise unter seinem natürlichen Druck in dessen Verflüssigungsraum ein.

[0011] Nun erscheint es auf den ersten Blick widersinnig zu sein, einen solchen Aufwand zu betreiben, der im Vergleich zum Einsatz eines Kaltverdichters sehr hoch zu sein scheint, nämlich eine zusätzliche Trennkolonne einzusetzen – die zweite Hochdrucksäule – und außerdem einen Teil der Luft auf höheren Druck zu verdichten. Im Rahmen der Erfindung hat sich jedoch herausgestellt, dass die Energieeinspa-

zung überraschend hoch ist und sich tatsächlich ein erheblicher Vorteil ergibt, der den zusätzlichen Aufwand rechtfertigt.

[0012] Vorzugsweise wird in dem Nebenkondensator Luft als Heizmedium eingesetzt, indem in dem Nebenkondensator ein dritter Einsatzluftstrom mindestens teilweise kondensiert wird, der insbesondere unter einem dritten Druck steht, der höher ist als der erste Druck. Beispielsweise ist der dritte Druck gleich dem zweiten Druck und der zweite und der dritte Einsatzluftstrom werden aus einem gemeinsamen Luftteilstrom abgezweigt, der vorher auf einen entsprechend erhöhten Druck gebracht worden ist.

[0013] Drücke werden hier als "gleich" bezeichnet, wenn der Druckunterschied zwischen den entsprechenden Stellen nicht größer als die natürlichen Leitungsverluste sind, die durch Druckverluste in Rohrleitungen, Wärmetauschern, Kühlern, Adsorbern etc. sind.

[0014] Im Rahmen der Erfindung ist es günstig, wenn der erste Einsatzluftstrom lediglich auf den ersten Druck (plus Leitungsverlusten) verdichtet und nur der zweite (gegebenenfalls gemeinsam mit dem dritten) Einsatzluftstrom auf den entsprechend höheren zweiten Druck (plus Leitungsverlusten) verdichtet beziehungsweise nachverdichtet wird. Dies wird besonders vorteilhaft durch die Merkmale des Patentanspruchs 3 bewerkstelligt.

[0015] Grundsätzlich können die Einsatzluftströme gemeinsam und dem niedrigeren Druckniveau einer gemeinsamen Luftreinigung zugeführt werden. In vielen Fällen ist es aber günstiger, zwei getrennte Reinigungsvorrichtungen vorzusehen, die unter den beiden unterschiedlichen Drücken betrieben werden, wie es an sich aus EP 342436 Es ist günstig, wenn auch der dritte Einsatzluftstrom durch mindestens einen Teil des abgekühlten zweiten Luftteilstroms gebildet wird. Zweiter und dritter Einsatzluftstrom werden also gemeinsam auf einen erhöhten Druck (beispielsweise den zweiten beziehungsweise dritten Druck plus Leitungsverlusten) gebracht und anschließend getrennt voneinander in die zweite Hochdrucksäule beziehungsweise den Nebenkondensator geleitet. Alternativ kann der gesamte zweite Luftteilstrom als zweiter Einsatzluftstrom durch den Nebenkondensator geführt, dort nur zu einem geringen Teil partiell kondensiert und anschließend als erster Einsatzluftstrom in die zweite Hochdrucksäule geleitet werden.

[0016] Vorzugsweise ist der dritte Druck (im Verflüssigungsraum des Nebenkondensators) gleich dem zweiten Druck (beim Eintritt des zweiten Einsatzluftstroms in die zweite Hochdrucksäule).

[0017] Verfahrenskälte für den Ausgleich von Austausch- und Isolierungsverlusten und gegebenenfalls für die Produktverflüssigung kann bei dem Verfahren beispielsweise durch eine Einblaseturbine gewonnen werden, indem ein vierter Einsatzluftstrom arbeitsleistend entspannt und in die Niederdrucksäule eingeleitet wird. Der vierte Einsatzluftstrom kann beispielsweise auf dasselbe Druckniveau wie der erste Einsatzluftstrom für die erste Hochdrucksäule verdichtet und etwa unter dem ersten Druck der entsprechenden Entspannungsmaschine zugeleitet werden.

[0018] Zusätzlich oder vorzugsweise alternativ kann Kälte durch eine Druckstickstoff-Turbine gewonnen werden, indem ein stickstoffangereicherter Strom aus einer Hochdrucksäule des Destilliersäulen-Systems zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung arbeitsleistend entspannt und der arbeitsleistend entspannte stickstoffangereicherte Strom in dem Hauptwärmetauscher angewärmt wird. Der stickstoffangereicherte Strom stammt vorzugsweise aus der ersten Hochdrucksäule und wird insbesondere ohne Maßnahmen zur Druckänderung zu der entsprechenden Entspannungsmaschine geführt; deren Eintrittsdruck ist also gleich dem Betriebsdruck der ersten Hochdrucksäule (minus Leitungsverlusten).

[0019] Dabei ist es günstig, wenn mindestens ein Teil des angewärmten stickstoffangereicherten Stroms als Regeneriergas in einer Reinigungseinrichtung für Einsatzluft eingesetzt wird. Dies stellt nicht nur eine nutzbringende Verwendung des arbeitsleistend entspannten Stroms dar, sondern entkoppelt auch den Niederdrucksäulendruck von dem Druckverlust, den das Regeneriergas in der Reinigungseinrichtung erfährt. Weil das Regeneriergas nicht wie sonst üblich aus der Niederdrucksäule entnommen wird, kann der Niederdrucksäulendruck entsprechend niedriger sein, und damit das gesamte Druckniveau abgesenkt werden. Dies erhöht die energetische Effizienz des Prozesses weiter.

[0020] Weiter Energie gespart werden kann durch Einsatz von Fallfilmverdampfer als Kondensator-Verdampfer der Niederdrucksäule. Insbesondere der Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer und/oder Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer können als Fallfilmverdampfer ausgestaltet sein. Der Nebenkondensator kann dagegen als Badverdampfer ausgestaltet werden.

[0021] Bei dem Verfahren der Erfindung kann zusätzlich eine dritte Hochdrucksäule eingesetzt werden, die unter höherem Druck als die zweite Hochdrucksäule betrieben wird, Ihr Kopfgas wird dann als Heizmittel für den Nebenkondensator eingesetzt. Entsprechend geringer wird die Vorverflüssigung von Luft.

[0022] Die Erfindung betrifft außerdem eine Vorrichtung gemäß Patentanspruch 11. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann durch Vorrichtungsmerkmale ergänzt werden, die den Merkmalen der abhängigen Verfahrensansprüche entsprechen.

[0023] Die Erfindung sowie weitere Einzelheiten der Erfindung werden im Folgenden anhand von in den Zeichnungen schematisch dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Hierbei zeigen:

[0024] **Fig. 1** ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung mit Druckstickstoff-Turbine und zwei Reinigungseinrichtungen unter verschiedenem Druckniveau,

[0025] **Fig. 2** ein zweites Ausführungsbeispiel mit Einblaseturbine und einer gemeinsamen Reinigungseinrichtung und

[0026] **Fig. 3** ein drittes Ausführungsbeispiel mit drei Hochdrucksäulen.

[0027] Atmosphärische Luft **1** wird in **Fig. 1** von einem Hauptluftverdichter **3** mit Nachkühler **4** über ein Filter **2** angesaugt und dort auf einen ersten Gesamtluftdruck von 3,1 bar verdichtet. Der Hauptluftverdichter kann zwei oder mehr Stufen mit Zwischenkühlung aufweisen; er ist aus Redundanzgründen vorzugsweise zweisträngig ausgebildet (beides in der Zeichnung nicht dargestellt). Der Gesamtluftstrom **5** wird unter dem ersten Gesamtluftdruck und einer Temperatur von 295 K einem ersten Direktkontaktkühler **6** zugeführt und dort in direktem Wärmeaustausch mit Kühlwasser **7** aus einem Verdunstungskühler **8** weiter auf 283 K abgekühlt. Der abgekühlte Gesamtluftstrom **9** wird in einen ersten Luftteilstrom **10** und einen zweiten Luftteilstrom **11** aufgeteilt.

[0028] Der zweite Luftteilstrom **11** wird in einem Nachverdichter **12** mit Nachkühler **13** von dem ersten Gesamtluftdruck (minus Druckverlusten) auf einen zweiten Gesamtluftdruck von 4,9 bar verdichtet. Der Nachverdichter kann zwei oder mehr Stufen mit Zwischenkühlung aufweisen; er ist aus Redundanzgründen vorzugsweise zweisträngig ausgebildet (beides in der Zeichnung nicht dargestellt). Je ein Strang des Hauptluftverdichters und des Nachverdichters können als eine Maschine mit gemeinsamem Antrieb ausgebildet sein, insbesondere als Getriebeverdichter. Der zweite Luftteilstrom **14** wird anschließend in einem zweiten Direktkontaktkühler **15** von 295 K auf 290 K abgekühlt, und zwar in direktem Wärmeaustausch mit einem wärmeren Kühlwasserstrom **16**.

[0029] Der erste Luftteilstrom wird in einer ersten Reinigungseinrichtung **18**, die unter dem ersten Gesamtluftdruck betrieben wird, gereinigt und anschließend über Leitung **19** unter diesem Druck dem war-

men Ende eines Hauptwärmetauschers zugeleitet, der in dem Ausführungsbeispiel durch zwei parallel geschaltete Blöcke **20**, **21** gebildet wird. Die auf etwa Taupunkt abgekühlte Luft bildet einen "ersten Einsatzluftstrom", der einer ersten Hochdrucksäule **23** zugeführt wird.

[0030] Die erste Hochdrucksäule **23** ist Teil eines Destilliersäulen-Systems zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung, das außerdem eine zweite Hochdrucksäule **24**, eine Niederdrucksäule, bestehend aus zwei Anschnitten **25**, **26**, einen Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer **27**, einen Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer **28** und einen Nebenkondensator **29** aufweist. Der Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer **27** und der Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer **28** sind als Fallfilmverdampfer ausgebildet, der Nebenkondensator **29** als Badverdampfer.

[0031] Der vorgekühlte zweite Luftteilstrom **17** wird in einer zweiten Reinigungseinrichtung **30**, die unter dem zweiten Gesamtluftdruck betrieben wird, gereinigt. Aus dem gereinigten zweiten Luftteilstrom kann über Leitung **32** ein kleiner Teil entnommen werden, der als Instrumentenluft oder für Zwecke außerhalb der Luftzerlegung eingesetzt wird. Der Rest strömt über Leitung **33** zum Hauptwärmetauscher **20** und wird dort abgekühlt. Der abgekühlte zweite Luftteilstrom **34** wird aufgeteilt in einen "zweiten Einsatzluftstrom" **35**, der in die zweite Hochdrucksäule **24** eingeleitet wird, und in einen "dritten Einsatzluftstrom" **36**, welcher dem Verflüssigungsraum des Nebenkondensators **29** zugeleitet wird.

[0032] Der mindestens teilweise, vorzugsweise im Wesentlichen vollständig kondensierte dritte Teilstrom **37** wird in einen Abscheider (Phasentrenner) **38** eingeleitet. Der flüssige Anteil **39** wird zu einem ersten Teil **40** der ersten Hochdrucksäule **23** zugeleitet. Zu einem zweiten Teil **41** wird er über einen Unterkühlungs-Gegenströmer **42** und Leitung **43** in die Niederdrucksäule **26** eingespeist.

[0033] Stickstoffreiches Kopfgas **44** der ersten Hochdrucksäule **23** wird zu einem ersten Teil in dem Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer **27** kondensiert. Dabei gewonnener flüssiger Stickstoff **46** wird zu einem ersten Teil **47** als Rücklauf auf den Kopf der ersten Hochdrucksäule **23** aufgegeben. Ein zweiter Teil **48** wird in dem Unterkühlungs-Gegenströmer **42** abgekühlt und über Leitung **49** als Rücklauf auf den Kopf der Niederdrucksäule **26** aufgegeben. Ein Teil **50** der unterkühlten Flüssigkeit kann bei Bedarf als Flüssigprodukt (LIN) gewonnen werden.

[0034] Ein zweiter Teil **51** des stickstoffreichen Kopfgases **44** der ersten Hochdrucksäule **23** wird in dem Hauptwärmetauscher **20** auf eine Zwischentemperatur angewärmt. Der angewärmte Druckstickstoff **52** wird in einer generatorgebremsten Druckstickstoff-

Turbine **53** von 2,7 bar auf 1,25 bar arbeitsleistend entspannt. Der Austrittsdruck der Turbine reicht gerade aus, um den arbeitsleistend entspannten Strom **54** durch den Hauptwärmetauscher **20** und über die Leitungen **55, 56, 57** als Regeneriergas durch die erste und die zweite Reinigungseinrichtung **18, 30** zu drücken.

[0035] Stickstoffreiches Kopfgas **58** der zweiten Hochdrucksäule **24** wird in dem Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer **28** kondensiert. Dabei gewonnener flüssiger Stickstoff **59** wird zu einem ersten Teil **60'** als Rücklauf auf den Kopf der zweiten Hochdrucksäule **24** aufgegeben. Ein zweiter Teil **61** wird in dem Unterkühlungs-Gegenströmer **42** abgekühlt und über Leitung **62** als Rücklauf auf den Kopf der Niederdrucksäule **26** aufgegeben.

[0036] Die Sumpfflüssigkeiten **63, 64** der beiden Hochdrucksäulen **23, 24** werden zusammengeführt, über Leitung **65**, den Unterkühlungs-Gegenströmer **42** und Leitung **66** in die Niederdrucksäule **26** eingespeist.

[0037] Die Sumpfflüssigkeit **66** der Niederdrucksäule **25** wird in den Verdampfungsraum des Niederdrucksäulen-Sumpfordampfers **28** eingeleitet und dort teilweise verdampft. Der flüssig verbliebene Anteil **67** strömt in den Verdampfungsraum des Nebenkondensators **29** und wird dort teilweise verdampft. Der verdampfte Anteil **68** wird zum kalten Ende des Hauptwärmetauscher-Blocks **20** geleitet, auf etwa Umgebungstemperatur angewärmt und schließlich über Leitung **69** als gasförmiges Sauerstoffprodukt (GOX) einer Reinheit von 95 mol-% gewonnen. Der flüssig verbliebene Anteil wird zu einem Teil **70** in einer Pumpe **71** auf einen Druck von 6 bar, in dem Hauptwärmetauscher-Block **21** verdampft und angewärmt und schließlich dem gasförmigen Sauerstoffprodukt **69** zugemischt. Ein anderer Teil **72** kann über den Unterkühlungs-Gegenströmer **42**, Pumpe **73** und Leitung **74** als Flüssigsauerstoffprodukt (LOX) gewonnen werden.

[0038] Eine flüssige Zwischenfraktion **75**, die am unteren Ende des zweiten Niederdrucksäulenabschnitts **26** anfällt wird mittels einer Pumpe **76** in den Verdampfungsraum des Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfers **27** gefördert und dort teilweise verdampft. Dabei erzeugter Dampf wird gemeinsam mit dem am Kopf des ersten Niederdrucksäulenabschnitts **25** anfallenden Dampf über die Leitungen **77** und **79** in den zweiten Niederdrucksäulenabschnitt **26** geleitet, gegebenenfalls gemeinsam mit umlaufender Spülflüssigkeit **78**. Der Rest der flüssig verbliebenen Zwischenfraktion dient als Rücklauf flüssigkeit im ersten Niederdrucksäulenabschnitt **25**.

[0039] Am Kopf der Niederdrucksäule **26** wird stickstoffreiches Restgas **80** unter einem Druck von 1,

26 bar abgezogen und nach Anwärmung in Unterkühlungs-Gegenströmer **42** und Hauptwärmetauscher **20** über Leitung **81** praktisch drucklos als trockenes Gas in den Verdunstungskühler **8** eingespeist und dort zur Abkühlung von Kühlwasser **82** genutzt.

[0040] **Fig. 2** unterscheidet sich hinsichtlich zweier Verfahrensabschnitte von **Fig. 1**, nämlich der Kälteerzeugung sowie der Luftverdichtung mit Vorkühlung und Reinigung. Im Folgenden werden nur die abweichenden Aspekte näher erläutert, die beide unabhängig voneinander mit den übrigen Verfahrensabschnitten kombiniert werden können.

[0041] Kälte wird hier nicht durch eine Druckstickstoff-Turbine, sondern durch eine Einblaseturbinen **153** erzeugt. Diese wird mit einem "vierten Einsatzluftstrom" **151, 152** betrieben, der aus dem ersten Luftteilstrom **119** unter dem niedrigeren ersten Gesamtluftdruck abgezweigt und in dem Hauptwärmetauscher **20** auf eine Zwischentemperatur abgekühlt wurde. Der arbeitsleistend entspannte vierte Einsatzluftstrom **154** wird der Niederdrucksäule **26** an einer geeigneten Zwischenstelle zugeführt.

[0042] Die Luftverdichtung ist hier einfacher ausgeführt als in **Figur 1** und weist insbesondere nur eine einzige Reinigungseinrichtung **118** auf, in der die Gesamtluft **105, 110** unter dem ersten Gesamtluftdruck gereinigt wird. Es wird auch nur ein Direktkontaktkühler **106** eingesetzt.

[0043] Die Aufteilung in den ersten Luftteilstrom **119** und den zweiten Luftteilstrom **111** wird hier stromabwärts der Reinigungseinrichtung **118** vorgenommen. Der Nachverdichter **112** ist wie in **Fig. 1** aufgebaut, weist jedoch nur einen üblichen Nachkühler **113** auf und die Luft wird nicht in einem Direktkontaktkühler weiter abgekühlt. Über Leitung **119** wird dann der zweite Luftteilstrom analog zu Leitung **19** in **Fig. 1** geführt.

[0044] **Fig. 3** entspricht weitgehend **Fig. 1**. Der warme Abschnitt des Verfahrens ist nicht dargestellt und kann wie in **Fig. 1** oder wie in **Fig. 2** ausgebildet sein.

[0045] Neben dem ersten Luftteilstrom **19** unter dem ersten Druck und dem zweiten Luftteilstrom wird ein Hochdruck-Einsatzluftstrom **233** in den Hauptwärmetauscher **20** eingeleitet. Der kalte Hochdruck-Einsatzluftstrom **235** tritt unter einem dritten Druck von 5,3 bar in eine dritte Hochdrucksäule **224** ein. Das stickstoffreiche Kopfgas **258** wird als Heizmittel in dem Nebenkondensator **228** eingesetzt und dort im Wesentlichen vollständig kondensiert. Dabei gewonnener flüssiger Stickstoff **259** wird zu einem ersten Teil **260** als Rücklauf auf den Kopf der zweiten Hochdrucksäule **24** aufgegeben. Ein zweiter Teil **261** wird in dem Unterkühlungs-Gegenströmer **42** abgekühlt

und über Leitung **262** als Rücklauf auf den Kopf der Niederdrucksäule **26** aufgegeben.

[0046] Der Nebenkondensator **228** ist bei diesem Ausführungsbeispiel als mehrstöckiger Badverdampfer ausgeführt, insbesondere als Kaskadenverdampfer, bei dem die einzelnen Stockwerke verdampfungsseitig seriell und verflüssigungsseitig parallel verbunden sind. Hierbei kann jede entsprechende Ausführungsform eines Kaskadenverdampfers eingesetzt werden, insbesondere diejenigen, die im Einzelnen in EP 1077356 A1, WO 0192798 A2 = US 2005028554 A1, WO 01092799 A1 = US 2003159810 A1, WO 03012352 A2 oder DE 10 2007 003 437 A1 beschrieben werden.

[0047] Statt der Druckstickstoff-Turbine **53** kann in dem Verfahren von [Fig. 3](#) auch eine Einblaseturbine eingesetzt werden.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 1000997 [0005]
- US 2008115531 A1 [0007]
- EP 342436 [0015]
- EP 1077356 A1 [0046]
- WO 0192798 A2 [0046]
- US 2005028554 A1 [0046]
- WO 01092799 A1 [0046]
- US 2003159810 A1 [0046]
- WO 03012352 A2 [0046]
- DE 102007003437 A1 [0046]

Patentansprüche

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

- ein erster Einsatzluftstrom in einem Hauptwärmetauscher (20, 21) abgekühlt wird,
- der abgekühlte erste Einsatzluftstrom (22) unter einem ersten Druck in die erste Hochdrucksäule (23) eingeführt wird,
- in dem Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer (27) gasförmiger Kopfstickstoff (44, 45) aus der ersten Hochdrucksäule (23) kondensiert und eine flüssige Zwischenfraktion (75) aus der Niederdrucksäule (25, 26) verdampft wird,
- mindestens ein Teil (47) des in dem Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer (27) kondensierten Kopfstickstoffs (46) als Rücklaufflüssigkeit auf die erste Hochdrucksäule (23) aufgegeben wird,
- mindestens ein Teil der in dem Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer (27) verdampften Zwischenfraktion als aufsteigendes Gas in die Niederdrucksäule, (25, 26) eingeleitet (77, 79) wird,
- ein Teil der Sumpfflüssigkeit (66) der Niederdrucksäule (25, 26) in dem Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer (28) in indirektem Wärmeaustausch mit einem kondensierenden Heizfluid (58) verdampft wird,
- ein nicht verdampfter Teil (67) der Sumpfflüssigkeit (66) der Niederdrucksäule (25, 26) in dem Nebenkondensator (29; 228) mindestens teilweise verdampft wird und
- mindestens ein Teil der in dem Nebenkondensator (29; 228) verdampften Flüssigkeit (68) als gasförmiges Sauerstoffprodukt (69) gewonnen wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- das Destilliersäulen-System zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung außerdem eine zweite Hochdrucksäule (24) aufweist,
- ein zweiter Einsatzluftstrom in dem Hauptwärmetauscher (20, 21) abgekühlt wird,
- der abgekühlte zweite Einsatzluftstrom (35) unter einem zweiten Druck, der höher ist als der erste Druck, in die zweite Hochdrucksäule (24) eingeleitet wird und
- mindestens ein Teil des Kopfgases (58) der zweiten Hochdrucksäule (24) als Heizfluid in dem Niederdrucksäulen-Sumpfordampfer (28) eingesetzt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein dritter Einsatzluftstrom in dem Hauptwärmetauscher (20, 21) abgekühlt wird und der abgekühlte dritte Einsatzluftstrom (36) in dem Nebenkondensator (29) mindestens teilweise kondensiert wird, wobei insbesondere der dritte Einsatzluftstrom

(36) bei der Einleitung in den Nebenkondensator (29) unter einem dritten Druck steht, der höher ist als der erste Druck.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass

- ein Gesamtluftstrom (1) auf einen ersten Gesamtluftdruck verdichtet wird, der höher als der ersten Druck, aber niedriger als der zweite Druck ist,
- der Gesamtluftstrom (5, 9) unter dem ersten Gesamtluftdruck in einen ersten Luftteilstrom (10) und einen zweiten Luftteilstrom (11) aufgeteilt wird,
- der erste Luftteilstrom (10, 19) unter etwa dem ersten Gesamtluftdruck in den Hauptwärmetauscher (20, 21) eingeleitet und dort abgekühlt wird,
- der erste Einsatzluftstrom (22) für die erste Hochdrucksäule (23) durch mindestens einen Teil des abgekühlten ersten Luftteilstroms gebildet wird,
- der zweite Luftteilstrom (11) auf einen Druck nachverdichtet (12) wird, der höher als der erste Gesamtluftdruck ist,
- der nachverdichtete zweite Luftteilstrom (14, 17, 33) in den Hauptwärmetauscher (20, 21) eingeleitet und dort abgekühlt wird und
- der zweite Einsatzluftstrom (35) für die zweite Hochdrucksäule (24) durch mindestens einen Teil des abgekühlten zweiten Luftteilstroms (34) gebildet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, dass der dritte Einsatzluftstrom (36) für den Nebenkondensator (29) durch mindestens einen Teil des abgekühlten zweiten Luftteilstroms (34) gebildet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der dritte Druck gleich dem zweiten Druck ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein vierter Einsatzluftstrom (151, 152) arbeitsleistend entspannt (153) und in die Niederdrucksäule (25, 26) eingeleitet (154) wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein stickstoffangereicherter Strom (51, 52) aus einer Hochdrucksäule (23) des Destilliersäulen-Systems zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung arbeitsleistend entspannt (53) und der arbeitsleistend entspannte stickstoffangereicherte Strom (54) in dem Hauptwärmetauscher (20, 21) angewärmt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Teil des angewärmten stickstoffangereicherten Stroms (55) als Regeneriergas (56, 57) in einer Reinigungseinrichtung (18, 30; 118) für Einsatzluft eingesetzt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer (27) und/oder Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer (28) als Fallfilmverdampfer ausgestaltet sind und insbesondere der Nebenkondensator (29; 228) als Badverdampfer ausgestaltet ist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass

- das Destilliersäulen-System zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung außerdem eine dritte Hochdrucksäule (224) aufweist,
- ein Hochdruck-Einsatzluftstrom (233) in dem Hauptwärmetauscher (20, 21) abgekühlt wird,
- der abgekühlte Hochdruck-Einsatzluftstrom (235) unter einem dritten Druck, der höher ist als der zweite Druck, in die dritte Hochdrucksäule (224) eingeleitet wird und
- mindestens ein Teil des Kopfgases (158) der dritten Hochdrucksäule (224) in den Nebenkondensator (228) eingeleitet und dort mindestens teilweise kondensiert wird.

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

- einem Hauptwärmetauscher (20, 21) zum Abkühlen eines ersten Einsatzluftstroms,
- Mitteln zum Einführen des abgekühlten ersten Einsatzluftstroms (22) unter einem ersten Druck in die erste Hochdrucksäule (23),
- Mitteln zum Einführen von) gasförmigem Kopfstickstoff (44, 45) aus der ersten Hochdrucksäule (23) in den Verflüssigungsraum des Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfers (27),
- Mitteln zum Einführen einer flüssigen Zwischenfraktion (75) aus der Niederdrucksäule (25, 26) in den Verdampfungsraum des Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfers (27),
- Mitteln zum Aufgeben mindestens eines Teils (47) des in dem Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer (27) kondensierten Kopfstickstoffs (46) als Rücklauf-Flüssigkeit auf die erste Hochdrucksäule (23),
- Mitteln zum Einleiten (77, 79) mindestens eines Teils der in dem Niederdrucksäulen-Zwischenverdampfer (27) verdampften Zwischenfraktion als aufsteigendes Gas in die Niederdrucksäule (25, 26),
- Mitteln zum Einleiten mindestens eines Teils der Sumpfflüssigkeit (66) der Niederdrucksäule (25, 26) in den Verdampfungsraum des Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfers (28),

- Mitteln zum Einleiten eines Heizfluid (58) in den Verflüssigungsraum des Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfers (28),
- Mitteln zum Einleiten eines nicht verdampften Teils (67) der Sumpfflüssigkeit (66) der Niederdrucksäule (25, 26) in den Verdampfungsraum des Nebenkondensators (29; 228) und mit
- Mitteln zum Gewinnen mindestens eines Teils der in dem Nebenkondensator (29; 228) verdampften Flüssigkeit (68) als gasförmiges Sauerstoffprodukt (69), dadurch gekennzeichnet, dass
- das Destilliersäulen-System zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung außerdem eine zweite Hochdrucksäule (24) aufweist,
- und das die Vorrichtung ferner
- Mittel zum Einleiten eines ein zweiten Einsatzluftstroms in dem Hauptwärmetauscher (20, 21),
- Mittel zum Einleiten des im Hauptwärmetauscher abgekühlten zweiten Einsatzluftstroms (35) in die zweite Hochdrucksäule (24), und
- Mittel zum Einleiten mindestens eines Teils des Kopfgases (58) der zweiten Hochdrucksäule (24) als Heizfluid in den Verflüssigungsraum der Niederdrucksäulen-Sumpfverdampfer (28) aufweist, wobei
- insbesondere Regelungsmittel vorgesehen sind, die bewirken, dass der zweite Einsatzluftstrom (35) unter einem zweiten Druck, der höher ist als der erste Druck, in die zweite Hochdrucksäule (24) eingeleitet wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

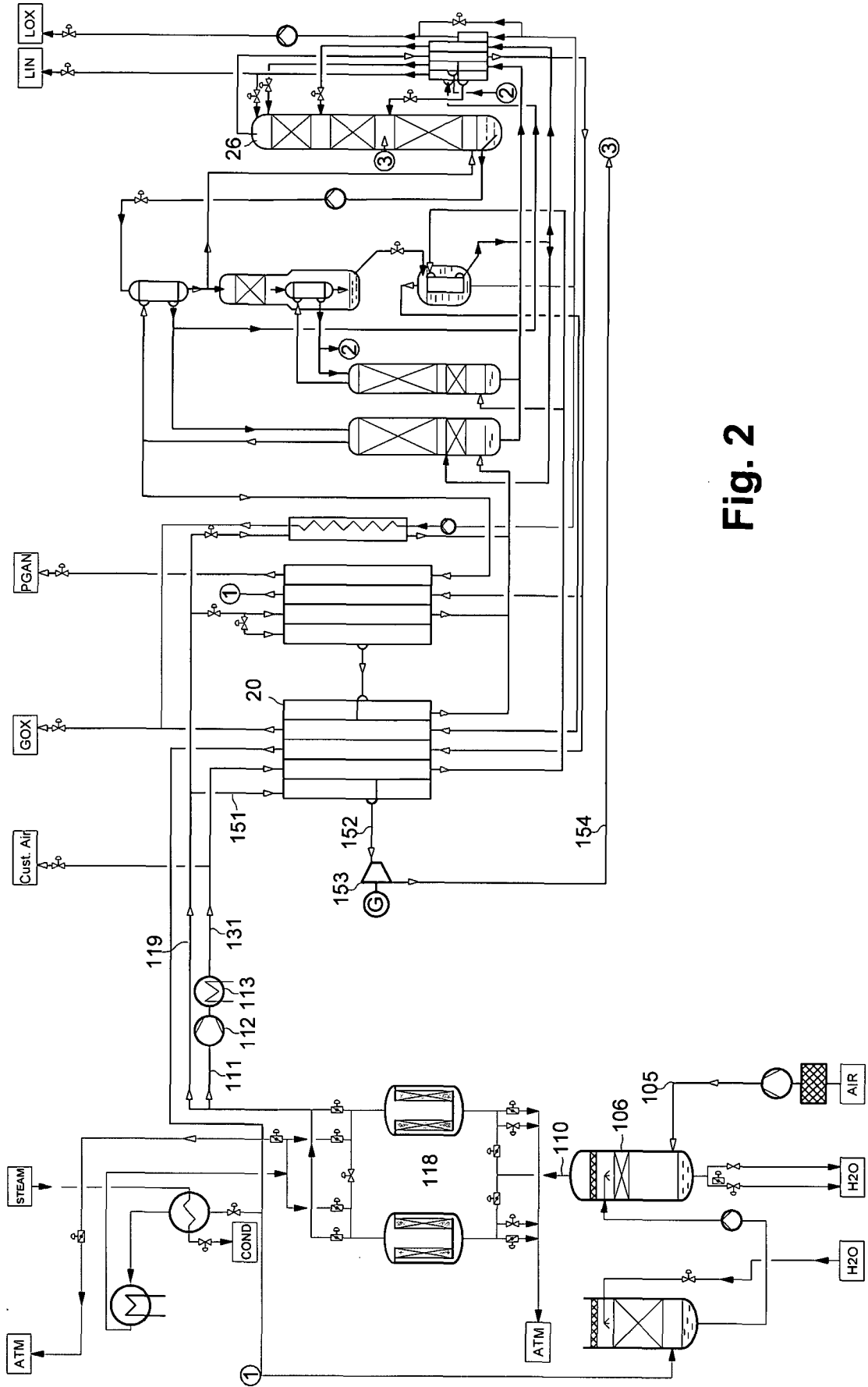


Fig. 2

