



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
14.06.2017 Patentblatt 2017/24

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

(21) Anmeldenummer: **16020464.0**

(22) Anmeldetag: **24.11.2016**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA MD

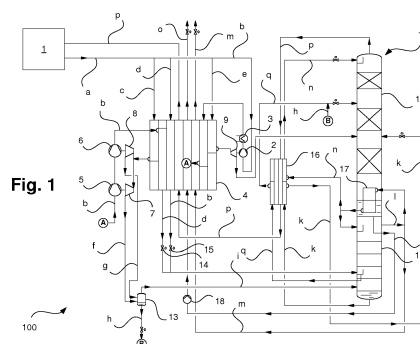
(71) Anmelder: **Linde Aktiengesellschaft**
80331 München (DE)
(72) Erfinder: **Lautenschlager, Tobias**
82194 Gröbenzell (DE)
(74) Vertreter: **Imhof, Dietmar**
Linde AG
Legal Services Intellectual Property
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14
82049 Pullach (DE)

(30) Priorität: **07.12.2015 EP 15003482**

(54) **VERFAHREN ZUR TIEFTEMPERATURZERLEGUNG VON LUFT UND LUFTZERLEGUNGSANLAGE**

(57) Es wird ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft in einer Luftzerlegungsanlage (100) vorgeschlagen, die ein Destillationssäulensystem (10) mit einer Hochdrucksäule (11) und einer Niederdrucksäule (12) aufweist, wobei das Verfahren umfasst, die gesamte, in das Destillationssäulensystem (10) eingespeiste Luft zunächst auf ein Ausgangsdruckniveau zu verdichten, das mindestens 4 und bis zu 20 bar oberhalb des Hochdrucksäulendruckniveaus liegt, einen Teil der auf das Ausgangsdruckniveau verdichteten Luft einer ersten Druckerhöhung auf einem oberhalb 0 °C liegenden ersten Temperaturniveau und anschließend zwei weiteren Druckerhöhungen auf unterhalb des ersten Temperaturniveaus liegenden Temperaturniveaus zu unterwerfen und anschließend unter Verwendung eines Drosselventils (14) in die Hochdrucksäule (11) zu entspannen, und der Niederdrucksäule (12) eine tiefkalte, sauerstoffreiche Flüssigkeit zu entnehmen, diese in tiefkaltem Zustand einer Druckerhöhung zu unterwerfen, anschließend zu erwärmen und zu verdampfen und aus der Luftzerlegungsanlage (100) auszuleiten. Es ist vorgesehen, dass für die erste Druckerhöhung ein erster Booster (2) verwendet wird, der unter Verwendung einer ersten Entspannungsmaschine (9) angetrieben wird, in der ein weiterer Teil der auf das Ausgangsdruckniveau verdichteten Luft, welcher anschließend in die Niederdrucksäule (12) eingespeist wird, von dem Ausgangsdruckniveau auf das Niederdrucksäulendruckniveau entspannt wird, für die zwei weiteren Druckerhöhungen ein erster Booster (5) und ein zweiter Booster (6) verwendet werden, die die Luft nacheinander durchläuft, wobei die Luft dem zweiten Booster (6) auf einem Temperaturniveau zugeführt wird,

auf dem sie den ersten Booster (5) verlässt, die durch den ersten Booster (2), den zweiten Booster (5) und den dritten Booster (6) jeweils insgesamt geführten Luftmengen sich um nicht mehr als 10% voneinander unterscheiden, die Druckerhöhung, der die der Niederdrucksäule (12) entnommene tiefkalte, sauerstoffreiche Flüssigkeit in tiefkaltem Zustand unterworfen wird, eine Druckerhöhung auf 6 bis 25 bar ist, und Luftprodukte zu einem Anteil von höchstens 1 %, bezogen auf die gesamte, in das Destillationssäulensystem (10) eingespeiste Luftmenge, aus der Luftzerlegungsanlage (100) flüssig ausgeleitet werden, und stickstoffreiche Luftprodukte zu einem Anteil von höchstens 2%, bezogen auf die gesamte, in das Destillationssäulensystem (10) eingespeiste Luftmenge, aus der Luftzerlegungsanlage (100) gasförmig ausgeleitet werden. Eine entsprechende Luftzerlegungsanlage (100) ist ebenfalls Gegenstand der Erfindung.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft in einer Luftzerlegungsanlage und eine zur Durchführung eines derartigen Verfahrens eingerichtete Luftzerlegungsanlage gemäß den Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche.

Stand der Technik

[0002] Die Herstellung von Luftprodukten in flüssigem oder gasförmigem Zustand durch Tieftemperaturzerlegung von Luft in Luftzerlegungsanlagen ist bekannt und beispielsweise bei H.-W. Häring (Hrsg.), Industrial Gases Processing, Wiley-VCH, 2006, insbesondere Abschnitt 2.2.5, "Cryogenic Rectification", beschrieben.

[0003] Für eine Reihe industrieller Anwendungen wird gasförmiger Drucksauerstoff benötigt, zu dessen Gewinnung Luftzerlegungsanlagen mit sogenannter Innenverdichtung zum Einsatz kommen können. Entsprechende Luftzerlegungsanlagen sind beispielsweise ebenfalls a.a.O. beschrieben und unter Bezugnahme auf die dortige Figur 2.3A erläutert. In entsprechenden Luftzerlegungsanlagen wird eine tiefkalte Flüssigkeit, insbesondere Flüssigsauerstoff, in tiefkaltem Zustand flüssig auf Druck gebracht, gegen einen Wärmeträger verdampft, und schließlich als gasförmiges Druckprodukt abgegeben. Die Innenverdichtung hat, unter anderem, energetische Vorteile im Vergleich zu einer nachträglichen Verdichtung eines bereits gasförmig bei niedrigem Druck vorliegenden Produkts.

[0004] Die vorstehenden Erläuterungen gelten in entsprechender Weise auch für andere gasförmige Druckprodukte wie beispielsweise Stickstoff oder Argon, die ebenfalls unter Verwendung der Innenverdichtung in gasförmigem Zustand erhalten werden können und zuvor als tiefkalte Flüssigkeiten einem Destillationssäulensystem entnommen werden. Wird die entsprechende tiefkalte Flüssigkeit in tiefkaltem Zustand auf einen Druck gebracht, der oberhalb des kritischen Drucks liegt, erfolgt anschließend keine Verdampfung im eigentlichen Sinn, sondern eine Überführung in den überkritischen Zustand. Diese wird auch als "Pseudoverdampfung" bezeichnet.

[0005] Die Herstellung von innenverdichtetem Sauerstoff bei gleichzeitig niedriger Flüssigproduktion ist unter Verwendung sogenannter High-Air-Pressure-(HAP-) Verfahren durchführbar. Unter "niedriger Flüssigproduktion" sei dabei verstanden, dass einer entsprechenden Luftzerlegungsanlage nur geringe Mengen an Produkten in flüssiger Form entnommen werden, beispielsweise eine Menge von weniger als 2%, bezogen auf die gesamte, in das Destillationssäulensystem eingespeiste Luftmenge.

[0006] Unter einem HAP-Verfahren wird ein Luftzerlegungsverfahren verstanden, bei dem die gesamte, in das Destillationssäulensystem eingespeiste Luftmenge, welche hier auch als "Einsatzluft" bezeichnet wird, zunächst

in einem Hauptluftverdichter auf ein Druckniveau verdichtet wird, das deutlich oberhalb des höchsten Betriebsdrucks in dem Destillationssäulensystem liegt. Insbesondere wird in einem HAP-Verfahren die Luft dabei zunächst auf ein Druckniveau verdichtet, das um mindestens 4 bis 5 bar und bis zu 20 bar höher als der höchste Betriebsdruck in dem Destillationssäulensystem ist. Bei einem klassischen Doppelsäulensystem mit Hoch- und Niederdrucksäule ist dabei der "höchste Betriebsdruck" in dem Destillationssäulensystem der Betriebsdruck der Hochdrucksäule. Luftzerlegungsanlagen für HAP-Verfahren lassen sich mit besonders niedrigen Investitionskosten erstellen, weil nur ein Verdichter benötigt wird.

[0007] Zur energetischen Optimierung in einem HAP-Verfahren kann ein sogenannter Drosselstrom eingesetzt werden. Bei einem derartigen Drosselstrom, wie er grundsätzlich bekannt ist, handelt es sich um einen Teilstrom der verdichteten Einsatzluft, der weiter druckerhöht werden kann, abgekühlt wird, und über eine Entspannungseinrichtung, insbesondere ein Drosselventil, in das Destillationssäulensystem bzw. dessen Hochdrucksäule entspannt wird.

[0008] In den erwähnten HAP-Verfahren kann ein derartiger Drosselstrom ausgehend von dem bereits hohen Ausgangsdruck, auf den die gesamte Einsatzluft gebracht wird, mittels eines warmen und eines kalten Boosters weiter druckerhöht werden. Einem entsprechenden "warmen Booster" wird die Luft ohne bzw. nur nach relativ geringer Abkühlung, beispielsweise in einem Wasserkühler stromab des Hauptluftverdichters, zugeführt. Eine Eintrittstemperatur eines derartigen warmen Boosters liegt daher deutlich oberhalb von 0 °C. Bei einem "kalten Booster" handelt es sich um einen Booster, dessen Eintrittstemperatur durch eine zuvor durchgeführte Abkühlung der dem kalten Booster zugeführten Luft deutlich unterhalb von 0 °C liegt.

[0009] Die meisten HAP-Verfahren weisen im Hauptwärmetauscher exergetisch günstige Q/T-Profile auf, wenn der durch Innenverdichtung zu erzeugende Drucksauerstoff einen Druck von mehr als 25 bar aufweisen soll, d.h. er mittels einer entsprechenden Pumpe in tiefkaltem, flüssigem Zustand auf ein derartiges Druckniveau gebracht wird. Sinkt der geforderte Druck für den innenverdichteten Sauerstoff hingegen deutlich unter 25 bar, ergeben sich für HAP-Verfahren exergetisch weniger günstige Q/T-Profile. Bei Drücken zwischen 6 und 25 bar wären daher aus rein exergetischer Sicht klassische Verfahren mit Haupt- und Nachverdichtern günstiger.

[0010] In derartigen Verfahren, die auch als MAC/BAC-Verfahren (Main Air Compressor/Booster Air Compressor) bezeichnet werden, wird ein Teil der dem Destillationssäulensystem zugeführten Luft lediglich auf den höchsten Betriebsdruck in dem Destillationssäulensystem oder allenfalls gering darüber verdichtet und ein weiterer Teil mittels eines Nachverdichters auf ein höheres Druckniveau gebracht. Vorteilhaft sind derartige Ver-

fahren insbesondere dann, wenn mittels eines entsprechenden Verfahrens kein oder nur geringe Mengen eines flüssigen Luftprodukts, beispielsweise Flüssigsauerstoff, gewonnen werden sollen. Liegt in derartigen Fällen ferner ein geringer Bedarf an gasförmigen, stickstoffreichen Luftprodukten vor, bietet sich insbesondere ein

[0011] Entsprechende MAC/BAC-Verfahren führen jedoch im Gegensatz zu den HAP-Verfahren zu deutlich erhöhten Investitionskosten aufgrund der aufwendiger zu erstellenden Verdichteranordnung. Es besteht daher der Bedarf nach Verfahren, die die niedrigen Investitionskosten eines HAP-Verfahrens mit den genannten Vorteilen eines MAC/BAC-Verfahrens, insbesondere mit einer Einblaseturbine, kombinieren.

Offenbarung der Erfindung

[0012] Die vorliegende Erfindung schlägt vor diesem Hintergrund ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft in einer Luftzerlegungsanlage und eine zur Durchführung eines derartigen Verfahrens eingerichtete Luftzerlegungsanlage mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vor. Bevorzugte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0013] Die vorliegende Anmeldung verwendet zur Charakterisierung von Drücken und Temperaturen die Begriffe "Druckniveau" und "Temperaturniveau", wodurch zum Ausdruck gebracht werden soll, dass Drücke und Temperaturen in einer entsprechenden Anlage nicht in Form exakter Druck- bzw. Temperaturwerte verwendet werden müssen, um das erfinderische Konzept zu verwirklichen. Jedoch bewegen sich derartige Drücke und Temperaturen typischerweise in bestimmten Bereichen, die beispielsweise $\pm 1\%$, 5% , 10% , 20% oder sogar 50% um einen Mittelwert liegen. Entsprechende Druckniveaus und Temperaturniveaus können dabei in disjunkten Bereichen liegen oder in Bereichen, die einander überlappen. Insbesondere schließen beispielsweise Druckniveaus unvermeidliche Druckverluste oder zu erwartende Druckverluste, beispielsweise aufgrund von Abkühlungseffekten oder Leitungsverlusten, ein. Entsprechendes gilt für Temperaturniveaus. Bei hier in bar angegebenen Druckniveaus handelt es sich um Absolutdrücke.

[0014] In Luftzerlegungsanlagen kommen zur Verdichtung der Luft Turboverdichter zum Einsatz. Dies gilt beispielsweise für den "Hauptluftverdichter", der sich dadurch auszeichnet, dass durch diesen die gesamte in das Destillationssäulensystem eingespeiste Luftmenge, also die gesamte Einsatzluft, verdichtet wird. Entsprechend kann auch ein "Nachverdichter", in dem in MAC/BAC-Verfahren ein Teil der im Hauptluftverdichter verdichteten Luftmenge auf einen nochmals höheren

Druck gebracht wird, als Turboverdichter ausgebildet sein. Zur Verdichtung von Teilluftmengen sind typischerweise weitere Turboverdichter vorgesehen, die auch als Booster bezeichnet werden, im Vergleich zu dem Hauptluftverdichter oder dem Nachverdichter jedoch nur eine Verdichtung in relativ geringem Umfang vornehmen.

[0015] An mehreren Stellen in Luftzerlegungsanlagen kann ferner Luft entspannt werden, wozu unter anderem Entspannungsmaschinen in Form von Turboexpandern, hier auch kurz als "Turbinen" bezeichnet, zum Einsatz kommen können. Turboexpander können auch mit Turboverdichtern bzw. Boostern gekoppelt sein und diese antreiben. Werden ein oder mehrere Turboverdichter ohne extern zugeführte Energie, d.h. nur über einen oder mehrere Turboverdichter, angetrieben, wird für eine derartige Anordnung auch der Begriff "Turbinenbooster" verwendet. In einem Turbinenbooster sind der Turboexpander und der Turboverdichter bzw. Booster mechanisch gekoppelt.

[0016] Allgemein können drehende Einheiten, beispielsweise Entspannungsmaschinen bzw. Entspannungsturbinen, Verdichter bzw. Verdichterstufen, Boosterturbinen bzw. Booster, Rotoren von Elektromotoren und dergleichen, in entsprechender Weise mechanisch miteinander gekoppelt sein. Unter einer "mechanischen Kopplung" wird im hier verwendeten Sprachgebrauch verstanden, dass über mechanische Elemente wie Zahnräder, Riemen, Getriebe und dergleichen eine feste oder mechanisch einstellbare Drehzahlbeziehung zwischen solchen drehenden Einheiten herstellbar ist. Eine mechanische Kopplung kann allgemein durch zwei oder mehrere, jeweils miteinander in Eingriff, beispielsweise in Formeingriff oder Reibeingriff, stehende Elemente, beispielsweise Zahnräder oder Treibscheiben mit Riemen, oder eine drehfeste Verbindung hergestellt werden. Eine drehfeste Verbindung kann insbesondere über eine gemeinsame Welle bewirkt werden, auf der die drehenden Einheiten jeweils drehfest befestigt sind. Die Drehzahl der drehenden Einheiten ist in diesem Fall gleich.

[0017] Hingegen sind entsprechende Einheiten "mechanisch ungekoppelt", wenn keine feste oder mechanisch einstellbare Drehzahlbeziehung zwischen entsprechenden Elementen besteht. Selbstverständlich können, beispielsweise zwischen mehreren Elektromotoren, insbesondere durch geeignete elektrische Ansteuerung, oder zwischen mehreren Turbinen, insbesondere durch die Wahl geeigneter Eingangs- und Enddrücke, auch bestimmte Drehzahlbeziehungen vorgegeben werden. Diese werden aber nicht durch zwei oder mehrere, jeweils miteinander in Eingriff, beispielsweise in Formeingriff oder Reibeingriff, stehende Elemente oder durch eine drehfeste Verbindung hervorgerufen.

[0018] Der mechanische Aufbau von Turboverdichtern und Turboexpandern ist dem Fachmann grundsätzlich bekannt. In einem Turboverdichter erfolgt die Verdichtung der Luft mittels Laufschaufeln, die auf einem Laufrad oder direkt auf einer Welle angeordnet sind. Ein Turboverdichter bildet dabei eine bauliche Einheit, die jedoch

mehrere "Verdichterstufen" aufweisen kann. Eine Verdichterstufe umfasst in der Regel ein Laufrad oder eine entsprechende Anordnung von Laufschaufeln. Alle dieser Verdichterstufen können von einer gemeinsamen Welle angetrieben werden. Ein Turboexpander ist grundsätzlich vergleichbar ausgebildet, wobei die Laufschaufeln jedoch durch die expandierende Luft angetrieben werden. Auch hier können mehrere Expansionsstufen vorgesehen sein. Turboverdichter und Turboexpander können als Radial- oder Axialmaschinen ausgebildet sein.

[0019] Im Rahmen dieser Anmeldung ist von der Gewinnung von Luftprodukten, insbesondere von Sauerstoff- und Stickstoffprodukten die Rede. Ein "Produkt" verlässt die erläuterte Anlage und wird beispielsweise in einem Tank eingelagert oder verbraucht. Es nimmt also nicht mehr nur ausschließlich an den anlageninternen Kreisläufen teil, kann jedoch vor dem Verlassen der Anlage entsprechend verwendet werden, beispielsweise als Kälteüberträger in einem Wärmetauscher. Der Begriff "Produkt" umfasst also nicht solche Fraktionen oder Ströme, die in der Anlage selbst verbleiben und ausschließlich dort, beispielsweise als Rücklauf, Kühlmittel oder Spülgas, verwendet werden.

Vorteile der Erfindung

[0020] Die vorliegende Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass die Verwendung seriell angeordneter kalter Booster, zwischen denen die zu verdichtende Luft des Drosselstroms nicht abgekühlt wird, ein besonders effizientes und zumindest die exergetischen Vorteile herkömmlicher MAC/BAC-Verfahren aufweisendes HAP-Verfahren ermöglicht. Die Wärmetauscherprofile in einem Hauptwärmetauscher, der in einer erfindungsgemäß betriebenen Luftzerlegungsanlage eingesetzt wird, erweisen sich als besonders günstig, insbesondere im Vergleich zu Wärmetauscherprofilen, wie sie in bekannten Verfahren, in denen eine Zwischenabkühlung zwischen kalten Boostern erfolgt, erhalten werden. Ferner beruht die vorliegende Erfindung auf der Erkenntnis, dass eine Verwendung eines warmen Boosters stromauf der kalten Booster besondere Vorteile bietet. Die insgesamt drei Booster verdichten dabei den mehrfach erläuterten Drosselstrom, jedoch keine weiteren Ströme. Zwischen dem warmen Booster einerseits und den seriell angeordneten kalten Boostern andererseits sowie stromab der kalten Booster wird insbesondere eine Abkühlung im Hauptwärmetauscher vorgenommen.

[0021] Die vorliegende Erfindung schlägt ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft unter Verwendung einer Luftzerlegungsanlage vor, die ein Destillationssäulensystem mit einer auf einem Hochdrucksäulendruckniveau betriebenen Hochdrucksäule und einer auf einem Niederdrucksäulendruckniveau betriebenen Niederdrucksäule aufweist. Das Hochdrucksäulendruckniveau kann beispielsweise bei 4 bis 7 bar liegen, wie es in entsprechenden Luftzerlegungsanlagen üblich ist. Das

Niederdrucksäulendruckniveau liegt knapp oberhalb des Atmosphärendrucks, insbesondere bei 1,2 bis 1,8 bar, um beispielsweise eine gute Trennleistung und eine Ausleitung in der Niederdrucksäule anfallender Luftprodukte ohne zusätzliche Pumpen gewährleisten zu können.

[0022] Als HAP-Verfahren umfasst das erfindungsgemäße Verfahren zunächst den Schritt, die gesamte, in das Destillationssäulensystem eingespeiste Luft zunächst auf ein Ausgangsdruckniveau zu verdichten, das mindestens 4 und bis zu 20 bar oberhalb des Hochdrucksäulendrucks liegt. Insbesondere kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung dabei in einem verwendeten Hauptluftverdichter eine Verdichtung der gesamten Luftmenge auf ein Druckniveau von 10 bis 23 bar erfolgen. Auf dem genannten Druckniveau kann die Druckluft einer Trocknung und Reinigung, insbesondere unter Verwendung von Molekularsieb, unterworfen werden.

[0023] Ein Teil der auf das Ausgangsdruckniveau verdichteten und entsprechend getrockneten und gereinigten Luft wird anschließend einer ersten Druckerhöhung auf einem oberhalb von 0 °C liegenden ersten Temperaturniveau und anschließend zwei weiteren Druckerhöhungen auf unterhalb des ersten Temperaturniveaus liegenden Temperaturniveaus unterworfen. Die der ersten Druckerhöhung unterworfenen Luft kann dabei insbesondere nach der ersten Druckerhöhung in einem Hauptwärmetauscher einer entsprechenden Luftzerlegungsanlage abgekühlt werden. Die entsprechende Luft wird daher den weiteren Druckerhöhungen auf entsprechend geringeren Temperaturniveaus unterworfen.

[0024] Die den zwei weiteren Druckerhöhungen unterworfenen Luft wird anschließend in die Hochdrucksäule entspannt. Zur Entspannung kommt ein Drosselventil zum Einsatz. Die Luft, die den zwei weiteren Druckerhöhungen und zuvor der ersten Druckerhöhung unterworfen wurde, ist daher ein sogenannter "Drosselstrom", wie er grundsätzlich auf dem Gebiet der Luftzerlegung bekannt ist.

[0025] Der Niederdrucksäule wird eine tiefkalte, sauerstoffreiche Flüssigkeit entnommen, in tiefkaltem Zustand einer Druckerhöhung unterworfen, anschließend erwärmt und verdampft und aus der Luftzerlegungsanlage als Druckprodukt ausgeleitet. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren handelt es sich also um ein Luftzerlegungsverfahren, bei dem eine sogenannte Innenverdichtung von Sauerstoff bzw. eines entsprechenden sauerstoffreichen Druckprodukts erfolgt.

[0026] Erfindungsgemäß ist nun vorgesehen, dass für die erste Druckerhöhung ein erster Booster (also ein "warmer" Booster, wie mehrfach erläutert) verwendet wird, wobei der erste Booster unter Verwendung einer ersten Entspannungsmaschine angetrieben wird, in der ein weiterer Teil der auf das Ausgangsdruckniveau verdichteten Luft von dem Ausgangsdruckniveau auf das zweite Druckniveau entspannt wird, der anschließend in die Niederdrucksäule eingespeist wird. Dieser weitere Teil wird insbesondere zuvor abgekühlt. Bei der ersten Entspannungsmaschine handelt es sich also ihrer Funk-

tion nach um eine sogenannte "Einblaseturbine" bzw. "Lachmann-Turbine", wie sie aus dem Bereich der Luftzerlegung ebenfalls bekannt ist. Durch eine entsprechende Lufteinblasung in die Niederdrucksäule verbessert sich die Energieeffizienz. Zu weiteren Details sei auf Fachliteratur, beispielsweise F.G. Kerry, Industrial Gas Handbook: Gas Separation and Purification, CRC Press, 2006, insbesondere Abschnitt 3.8.1, "The Lachmann Principle", verwiesen.

[0027] Erfindungsgemäß ist ferner vorgesehen, dass für die zwei weiteren Druckerhöhungen ein zweiter Booster und ein dritter Booster (also zwei "kalte" Booster) verwendet werden, durch die Luft für die zwei weiteren Druckerhöhungen nacheinander geführt wird, wobei die Luft dem dritten Booster auf einem Temperaturniveau zugeführt wird, auf dem sie den zweiten Booster verlässt. Mit anderen Worten erfolgt also im Rahmen der vorliegenden Erfindung keine Zwischenabkühlung zwischen den kalten Boostern, was, wie erfindungsgemäß erkannt wurde, gegenüber herkömmlichen Verfahren besonders günstige Wärmetauschprofile in dem verwendeten Wärmetauscher ermöglicht.

[0028] Die jeweils insgesamt durch den ersten Booster, den zweiten Booster und den dritten Booster und optional durch das Drosselventil geführten Luftmengen unterscheiden sich erfindungsgemäß um nicht mehr als 10% voneinander. Insbesondere können diese Luftmengen sich um nicht mehr als 5% unterscheiden oder im Wesentlichen oder vollständig identisch sein. Mit anderen Worten sind die der ersten und die den zwei weiteren Druckerhöhungen jeweils unterworfenen Luftmengen und optional auch die in dem Drosselventil entspannte Luftmenge im erläuterten Umfang ähnlich oder gleich.

[0029] Dies bedeutet nichts anderes, als dass der erste Booster, der zweite Booster und der dritte Booster und optional auch das Entspannungsventil nur für die Bereitstellung des Drosselstroms, nicht aber für die Bereitstellung weiterer Luftanteile bzw. in das Destillationssäulensystem eingespeister Ströme eingesetzt werden.

Die vorliegende Erfindung entfaltet ihre Vorteile, wenn die der Niederdrucksäule entnommene, tiefkalte sauerstoffreiche Flüssigkeit in tiefkaltem Zustand einer Druckerhöhung auf 6 bis 25 bar unterworfen wird. Eine entsprechende Druckerhöhung ist daher erfindungsgemäß vorgesehen. Wie eingangs erwähnt, sind herkömmlicherweise in derartigen Druckbereichen, auf denen ein innenverdichtetes Sauerstoffprodukt bereitgestellt wird, klassische MAC/BAC-Verfahren exergetisch günstiger. Die vorliegende Erfindung ermöglicht es jedoch durch den erwähnten Einsatz der seriellen Booster ohne Zwischenabkühlung entsprechende Vorteile auch in HAP-Verfahren zu erzielen.

[0030] Wie bereits angesprochen, entfaltet die Erfindung ihre Vorteile, wenn eine geringe Flüssigproduktion vorgenommen wird, d.h. Luftprodukte zu einem Anteil von höchstens 1 % oder auch 0%, bezogen auf die gesamte, in das Destillationssäulensystem eingespeiste Luftmenge, aus der Luftzerlegungsanlage flüssig ausge-

leitet werden. Dies ist daher erfindungsgemäß vorgesehen. Ferner wird eine relativ geringe Menge stickstoffreicher Luftprodukte gebildet. Bei diesen stickstoffreichen Luftprodukten handelt es sich um solche, die der Hochdrucksäule des Destillationssäulensystems kopfnah oder am Kopf entnommen und weder als Rücklauf auf die Hochdrucksäule oder die Niederdrucksäule verwendet werden. Insbesondere werden im Rahmen der vorliegenden Erfindung daher stickstoffreiche Luftprodukte zu einem Anteil von höchstens 2%, bezogen auf die gesamte, in das Destillationssäulensystem eingespeiste Luftmenge, der Hochdrucksäule entnommen und aus der Luftzerlegungsanlage gasförmig ausgeleitet.

[0031] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung werden vorteilhafterweise der zweite Booster und der dritte Booster jeweils mittels Entspannungsmaschinen angetrieben, in denen ein weiterer Teil der auf das Ausgangsdruckniveau verdichteten Luft entspannt wird, der zuvor abgekühlt wurde und anschließend, d.h. nach der Entspannung in den genannten Entspannungsmaschinen, in das Destillationssäulensystem eingespeist wird. Zum Antrieb des zweiten Boosters wird dabei eine zweite Entspannungsmaschine und zum Antrieb des dritten Boosters eine dritte Entspannungsmaschine verwendet. Im Gegensatz zu den seriell betriebenen Boostern, die für die zwei weiteren Druckerhöhungen eingesetzt werden, sind entsprechende Entspannungsmaschinen parallel geschaltet, d.h. die für den Antrieb der Entspannungsmaschinen eingesetzte Luft wird zuvor in zwei Teilströme aufgeteilt. Auf diese Weise kann die entspannte Luftmenge jeweils der erforderlichen Druckerhöhung in den entsprechenden, mit den Entspannungsmaschinen verbundenen kalten Boostern angepasst werden und umgekehrt.

[0032] Insbesondere erfolgt der Antrieb der kalten Booster mittels der jeweiligen Entspannungsmaschinen über eine geeignete mechanische Kopplung. Zu Details einer entsprechenden mechanischen Kopplung sei auf die obigen Erläuterungen verwiesen. Grundsätzlich ließen sich entsprechende Booster auch motorisch antreiben, ein Antrieb über entsprechende Entspannungsmaschinen ist jedoch hinsichtlich der Investitionskosten und des Wärmeeintrags in eine entsprechende Anlage besonders vorteilhaft.

[0033] Vorteilhafterweise erfolgt die Entspannung der Luft in den Entspannungsmaschinen, die den zweiten Booster und den dritten Booster antreiben, auf das Hochdrucksäulendruckniveau. Durch eine entsprechende Entspannung kann eine Teilverflüssigung der Luft erfolgen. Ein gasförmiger Anteil kann dabei direkt in die Hochdrucksäule eingespeist und der verflüssigte Anteil in die Niederdrucksäule entspannt werden. Der verflüssigte Anteil lässt sich auf diese Weise als Rücklauf auf die Niederdrucksäule nutzen und trägt dort zur Verbesserung der Trennleistung bei, wie beispielsweise bei Kerry in Abschnitt 2.6, "Theoretical Analysis of the Claude Cycle" erläutert.

[0034] Die vorliegende Erfindung erlaubt weitere Op-

timierungen. Insbesondere kann ein Teil der auf das Ausgangsdruckniveau verdichteten Luft abgekühlt und ausgehend von dem Ausgangsdruckniveau, d.h. ohne weitere Druckerhöhung durch Booster und dergleichen, in die Hochdrucksäule entspannt werden. Dies kann insbesondere über ein weiteres Entspannungsventil erfolgen.

[0035] Insbesondere kann die Luft, die dem zweiten Booster zugeführt wird, zuvor im Hauptwärmetauscher auf ein Temperaturniveau von 130 bis 200 K abgekühlt werden. Die Luft, die in den Entspannungsmaschinen entspannt wird, die den zweiten Booster und den dritten Booster antreiben, wird insbesondere zuvor auf ein Temperaturniveau von 120 bis 190 K abgekühlt. Die Luft, die in der ersten Entspannungsmaschine entspannt wird, die den ersten Booster antreibt, wird insbesondere zuvor auf ein Temperaturniveau von 150 bis 230 K abgekühlt. Die in dem dritten Booster druckerhöhte Luft wird vorteilhafterweise nach der dortigen Druckerhöhung und vor ihrer Entspannung in die Hochdrucksäule auf ein Temperaturniveau von 97 bis 105 K, also das tiefste Temperaturniveau, das mittels eines entsprechenden Hauptwärmetauschers bereitstellbar ist, abgekühlt. Mittels des zweiten Boosters wird vorteilhafterweise eine Druckerhöhung um 10 bis 25 bar und mittels des dritten Boosters vorteilhafterweise eine Druckerhöhung um 5 bis 20 bar bewirkt.

[0036] Die vorliegende Erfindung erstreckt sich auch auf eine Luftzerlegungsanlage zur Tieftemperaturzerlegung von Luft, die ein Destillationssäulensystem mit einer für einen Betrieb auf einem Hochdrucksäulendruckniveau eingerichteten Hochdrucksäule und einer für einen Betrieb auf einem Niederdrucksäulendruckniveau eingerichteten Niederdrucksäule aufweist.

[0037] Die Luftzerlegungsanlage umfasst dabei Mittel, die dazu eingerichtet sind, die gesamte, in das Destillationssäulensystem eingespeiste Luft zunächst auf ein Ausgangsdruckniveau zu verdichten, das mindestens 4 und bis zu 20 bar oberhalb des Hochdrucksäulendruckniveaus liegt, einen Teil der auf das Ausgangsdruckniveau verdichteten Luft einer ersten Druckerhöhung auf einem oberhalb 0 °C liegenden ersten Temperaturniveau und anschließend zwei weiteren Druckerhöhungen auf unterhalb des ersten Temperaturniveaus liegenden Temperaturniveaus zu unterwerfen und anschließend unter Verwendung eines Drosselventils in die Hochdrucksäule zu entspannen, und der Niederdrucksäule eine tiefkalte, sauerstoffreiche Flüssigkeit zu entnehmen, diese in tiefkaltem Zustand einer Druckerhöhung zu unterwerfen, anschließend zu erwärmen und zu verdampfen und aus der Luftzerlegungsanlage auszuleiten. Erfindungsgemäß ist für die erste Druckerhöhung ein erster Booster bereitgestellt, der mit einer ersten Entspannungsmaschine mechanisch gekoppelt ist, wobei Mittel vorgesehen sind, die dazu eingerichtet sind, einen weiteren Teil der auf das Ausgangsdruckniveau verdichteten Luft in der ersten Entspannungsmaschine von dem Ausgangsdruckniveau auf das Niederdrucksäulendruckniveau zu entspannen und anschließend in die Nieder-

drucksäule einzuspeisen,

[0038] Erfindungsgemäß sind für die zwei weiteren Druckerhöhungen ein zweiter Booster und ein dritter Booster bereitgestellt und es sind Mittel vorgesehen, die dazu eingerichtet sind, die Luft für die zwei weiteren Druckerhöhungen nacheinander durch den zweiten Booster und den dritten Booster zu führen und dabei die Luft dem dritten Booster auf einem Temperaturniveau zuzuführen, auf dem sie den zweiten Booster verlässt. Es sind Mittel vorgesehen, die dazu eingerichtet sind, durch den ersten Booster, den zweiten Booster und den dritten Booster jeweils insgesamt Luftmengen zu führen, die sich um nicht mehr als 10% voneinander unterscheiden. Ferner sind Mittel vorgesehen, die dazu eingerichtet sind, die Druckerhöhung, der die der Niederdrucksäule entnommene tiefkalte, sauerstoffreiche Flüssigkeit in tiefkaltem Zustand unterworfen wird, in Form einer Druckerhöhung auf 6 bis 25 bar vorzunehmen.

[0039] Die Luftzerlegungsanlage ist dazu eingerichtet, Luftprodukte zu einem Anteil von höchstens 1%, bezogen auf die gesamte, in das Destillationssäulensystem eingespeiste Luftmenge, flüssig bereitzustellen und vorteilhafterweise stickstoffreiche Luftprodukte zu einem Anteil von höchstens 2%, bezogen auf die gesamte, in das Destillationssäulensystem eingespeiste Luftmenge, der Hochdrucksäule zu entnehmen und gasförmig bereitzustellen.

[0040] Eine derartige Luftzerlegungsanlage ist insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens eingerichtet, wie es zuvor erläutert wurde. Auf die entsprechenden Merkmale und Vorteile sei daher ausdrücklich verwiesen.

[0041] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert, die Details bezüglich Ausführungsformen der Erfindung veranschaulichen.

[0042] Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Figur 1 veranschaulicht eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in Form eines schematischen Prozessflussdiagramms.

Figur 2 veranschaulicht ein Q/T-Diagramm für einen gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung eingesetzten Wärmetauscher.

Figur 3 veranschaulicht ein Q/T-Diagramm für einen gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung eingesetzten Wärmetauscher.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

[0043] In Figur 1 ist eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung in Form eines schematischen Prozessflussdiagramms veranschaulicht und insgesamt mit 100 bezeichnet.

[0044] Der Luftzerlegungsanlage 100 wird mittels einer Luftverdichtungs- und Reinigungseinheit 1, die einen Hauptluftverdichter und ein geeignetes Reinigungssystem umfasst und hier stark schematisiert dargestellt ist, ein Druckluftstrom a zugeführt. Die in Figur 1 veranschaulichte Luftzerlegungsanlage ist für ein sogenanntes HAP-Verfahren eingerichtet. Dies bedeutet, dass der Druckluftstrom a, der die gesamte, in ein Destillations-säulensystem 10 der Luftzerlegungsanlage 100 eingespeiste Luft umfasst, auf ein Druckniveau verdichtet wird, das mindestens 4 und bis zu 20 bar oberhalb des Druckniveaus liegt, auf dem eine Hochdrucksäule 11 des Destillationssäulensystems 10 betrieben wird.

[0045] Das Druckniveau des Stroms a wird hier als "Ausgangsdruckniveau" bezeichnet, das Druckniveau der Hochdrucksäule 11 als "Hochdrucksäulendruckniveau". Auf dem Ausgangsdruckniveau werden aus der Luft des Druckluftstroms a insgesamt vier Teilströme gebildet, die hier mit b, c, d und e bezeichnet sind.

[0046] Die Luft des Teilstroms b wird dabei zunächst einer Druckerhöhung in einem Booster 2 unterworfen. Die Druckerhöhung in dem Booster 2, die hier auch als "erste Druckerhöhung" bezeichnet wird, erfolgt bei deutlich mehr als 0°C, weshalb der Booster 2 herkömmlicherweise auch als "Warmbooster" bezeichnet wird.

[0047] Nach der ersten Druckerhöhung in dem Booster 2 wird die Luft des Teilstroms b in einem Nachkühler 3 abgekühlt und anschließend warmseitig einem Hauptwärmetauscher 4 der Luftzerlegungsanlage 100 zugeführt. Die Luft des Teilstroms b wird dem Hauptwärmetauscher 4 (siehe Verknüpfung A) auf einem Zwischentemperaturniveau entnommen, das deutlich unterhalb von 0 °C liegt. Die entsprechend abgekühlte Luft des Teilstroms b wird anschließend zwei weiteren Druckerhöhungen unterworfen. Hierzu wird die Luft des Teilstroms b zunächst durch einen Booster 5 und anschließend durch einen Booster 6 geführt. Der Booster 5 wird hier auch als "zweiter", der Booster 6 auch als "dritter" Booster bezeichnet. Beide Booster 5, 6 werden auf Temperaturniveaus deutlich unterhalb von 0 °C und insbesondere auf Temperaturniveaus unterhalb des ersten Temperaturniveaus des Boosters 2 betrieben. Sie werden daher auch als "Kaltbooster" bezeichnet.

[0048] Die Luft des Teilstroms b wird dem dritten Booster 6 dabei auf einem Temperaturniveau zugeführt, auf dem sie den zweiten Booster 5 verlässt. Es erfolgt also zwischen dem zweiten Booster 5 und dem dritten Booster 6 keine Zwischenabkühlung. Nach der Druckerhöhung in dem Booster 6 wird die Luft des Teilstroms b auf dem Temperaturniveau, auf dem sie den dritten Booster 6 verlässt, erneut dem Hauptwärmetauscher 4 zugeführt und diesem kaltseitig entnommen.

[0049] Die Booster 5 und 6 werden mittels Entspannungsmaschinen 7 und 8 angetrieben, in denen Luft des Teilstroms c, die hierzu in Teilströme f und g aufgeteilt wird, verwendet wird. Die Luft des Teilstroms c wird hierbei zunächst dem Hauptwärmetauscher warmseitig zugeführt und diesem auf einem Zwischentemperaturni-

veau entnommen, bevor sie in die erwähnten Teilströme f und g aufgeteilt und den Entspannungsmaschinen 7, 8 zugeführt wird.

[0050] Die Luft des Teilstroms d wird dem Hauptwärmetauscher 4 warmseitig zugeführt und kaltseitig entnommen, die Luft des Teilstroms e wird dem Hauptwärmetauscher 4 warmseitig zugeführt, auf einem Zwischentemperaturniveau entnommen und in einer Entspannungsmaschine 9 zum Antreiben des Boosters 2 verwendet.

[0051] Die entspannte Luft der Teilströme f und g wird in einen Abscheidebehälter 13 überführt, in dem sich eine Flüssigphase abscheidet. Die Flüssigphase wird (siehe Verknüpfung B) in Form eines Stroms h in die Niederdrucksäule 12 entspannt. Der gasförmig verbleibende Anteil der Luft der Ströme f und g wird in Form eines Stroms i in die Hochdrucksäule 11 eingespeist. Die Luft der Teilströme b und d wird über Ventile 14 und 15 in die Hochdrucksäule 11 entspannt. Direkt unterhalb der Einspeisestelle der Ströme b und d kann ein durch deren Entspannung verflüssigter Anteil in Form des Stroms q aus der Hochdrucksäule 11 abgezogen, durch einen Unterkühlungsgegenströmer 16 geführt und zusammen mit dem Strom h in die Niederdrucksäule 12 entspannt werden.

[0052] In der Hochdrucksäule 11 wird unter Verwendung von Luft der Ströme b, d und i ein sauerstoffangereichertes, flüssiges Sumpfprodukt und ein stickstoffangereichertes, gasförmiges Kopfprodukt gebildet. Das sauerstoffangereicherte flüssige Sumpfprodukt der Hochdrucksäule 11 wird dieser zumindest zum Teil in Form eines Stroms k entnommen, durch den Unterkühlungsgegenströmer 16 geführt und in die Niederdrucksäule 12 entspannt. Das stickstoffangereicherte, gasförmige Kopfprodukt wird zumindest zu einem Teil in Form des Stroms l abgezogen. Ein Teil hiervon kann in Form des Stroms m in dem Hauptwärmetauscher 4 erwärmt und als stickstoffreiches Druckprodukt aus der Luftzerlegungsanlage 100 ausgeführt oder beispielsweise als Dichtgas in einem Hauptluftverdichter der Luftverdichtungs- und Reinigungseinheit 1 verwendet werden.

[0053] Ein weiterer Anteil des Stroms l kann in einem die Hochdrucksäule und die Niederdrucksäule wärmetauschend verbindenden Hauptkondensator 17 zumindest teilweise verflüssigt werden. Ein Anteil des entsprechenden Verflüssigungsprodukts kann auf die Hochdrucksäule 11 als Rücklauf zurückgeführt werden, ein weiterer Anteil in Form des Stroms n durch den Unterkühlungsgegenströmer 16 geführt und in die Niederdrucksäule 12 entspannt werden.

[0054] In der Niederdrucksäule 12 werden ein sauerstoffreiches flüssiges Sumpfprodukt und ein gasförmiges Kopfprodukt gebildet. Das sauerstoffreiche flüssige Sumpfprodukt der Niederdrucksäule 12 kann zumindest teilweise in Form des Stroms o aus der Hochdrucksäule 12 abgezogen, mittels einer Pumpe 18 in flüssigem Zustand druckerhöht, in dem Hauptwärmetauscher 4 erwärmt und verdampft und als innenverdichtetes Sauer-

stoffdruckprodukt aus der Luftzerlegungsanlage 100 ausgeführt werden.

[0055] Das gasförmige Kopfprodukt der Niederdrucksäule 12 kann zumindest teilweise in Form des Stroms p als sogenannter Unreinstickstoff abgezogen, durch den Unterkühlungsgegenströmer 16 geführt, in dem Hauptwärmetauscher 4 erwärmt und beispielsweise als Regeneriergas für Adsorber in der Luftverdichtungs- und Reinigungseinheit 1 verwendet werden.

[0056] Durch den in Figur 1 veranschaulichten Betrieb der Luftzerlegungsanlage 100 ergibt sich ein besonders vorteilhafter Wärmetausch in dem Hauptwärmetauscher 4, wenn die weiteren, oben erläuterten Voraussetzungen erfüllt sind. Dies ist anhand der in Figur 2 und 3 gezeigten Q/T-Diagramme veranschaulicht.

[0057] In Figur 2 ist dabei ein entsprechendes Q/T-Diagramm für den Fall dargestellt, dass das sauerstoffreiche Fluid des Stroms o in der Pumpe 18 der Luftzerlegungsanlage 100 auf ein Druckniveau von ca. 15,0 bar verdichtet wird, in Figur 3 ist ein entsprechendes Q/T-Diagramm bei einem Druck von ca. 10,0 bar veranschaulicht. Es ist jeweils eine Temperatur in K auf der Abszisse gegenüber einer Enthalpie(summe) des Wärmetauschers in MW auf der Ordinate aufgetragen. Mit 201 ist jeweils eine Zustandsänderungskurve bzw. Summenkurve des warmen, mit 202 eine Zustandsänderungskurve bzw. Summenkurve des kalten Mediums, hier des zu erwärmenden sauerstoffreichen Fluids des Stroms o, bezeichnet. Wie aus den Figuren 2 und 3 ersichtlich, sind die Zustandsänderungskurven bzw. Summenkurven 201 und 202 aufgrund des erfindungsgemäßen Betriebs einer entsprechenden Luftzerlegungsanlage sehr eng aneinander angenähert.

[0058] Je enger die warme und die kalte Summenkurve sich im Hauptwärmetauscher annähern, desto geringere Exergieverluste entstehen durch die Wärmeübertragung. Da die Exergieverluste durch Wärmeübertragung sich proportional zu $\sim 1/T^2$ verhalten, sind Temperaturdifferenzen im bei "kalten Temperaturen" besonders teuer im exergetischen Sinn. T bezeichnet im vorstehenden Term das Temperaturniveau der lokalen Wärmeübertragung.

[0059] Liegen daher, bildlich gesprochen, die warme und die kalte Summenkurve im Bereich von 200 bis 100 K nahe aneinander, so ist der Prozess im Hauptwärmetauscher im erläuterten Sinn besonders vorteilhaft bzw. lässt sich in einem derartigen Fall das gesamte System besonders energieoptimiert betreiben.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft unter Verwendung einer Luftzerlegungsanlage (100), die ein Destillationssäulensystem (10) mit einer auf einem Hochdrucksäulendruckniveau betriebenen Hochdrucksäule (11) und einer auf einem Niederdrucksäulendruckniveau betriebenen Niederdruck-

säule (12) aufweist, wobei das Verfahren umfasst

- die gesamte, in das Destillationssäulensystem (10) eingespeiste Luft zunächst auf ein Ausgangsdruckniveau zu verdichten, das mindestens 4 und bis zu 20 bar oberhalb des Hochdrucksäulendruckniveaus liegt,
- einen Teil der auf das Ausgangsdruckniveau verdichteten Luft einer ersten Druckerhöhung auf einem oberhalb 0 °C liegenden ersten Temperaturniveau und anschließend zwei weiteren Druckerhöhungen auf unterhalb des ersten Temperaturniveaus liegenden Temperaturniveaus zu unterwerfen und anschließend unter Verwendung eines Drosselventils (14) in die Hochdrucksäule (11) zu entspannen, und
- der Niederdrucksäule (12) eine tiefkalte, sauerstoffreiche Flüssigkeit zu entnehmen, diese tiefkalte, sauerstoffreiche Flüssigkeit in tiefkaltem Zustand einer Druckerhöhung zu unterwerfen, zu erwärmen und zu verdampfen, und aus der Luftzerlegungsanlage (100) auszuleiten,

dadurch gekennzeichnet, dass

- für die erste Druckerhöhung ein erster Booster (2) verwendet wird, der unter Verwendung einer ersten Entspannungsmaschine (9) angetrieben wird, in der ein weiterer Teil der auf das Ausgangsdruckniveau verdichteten Luft, welcher anschließend in die Niederdrucksäule (12) eingespeist wird, von dem Ausgangsdruckniveau auf das Niederdrucksäulendruckniveau entspannt wird,
- für die zwei weiteren Druckerhöhungen ein zweiter Booster (5) und ein dritter Booster (6) verwendet werden, durch die die Luft nacheinander geführt wird, wobei die Luft dem dritten Booster (6) auf einem Temperaturniveau zugeführt wird, auf dem sie den zweiten Booster (5) verlässt,
- die jeweils insgesamt durch den ersten Booster (2), den zweiten Booster (5) und den dritten Booster (6) geführten Luftmengen sich um nicht mehr als 10% voneinander unterscheiden,
- die Druckerhöhung, der die der Niederdrucksäule (12) entnommene tiefkalte, sauerstoffreiche Flüssigkeit in tiefkaltem Zustand unterworfen wird, eine Druckerhöhung auf 6 bis 25 bar ist,
- Luftprodukte zu einem Anteil von höchstens 1 %, bezogen auf die gesamte, in das Destillationssäulensystem (10) eingespeiste Luftmenge, aus der Luftzerlegungsanlage (100) flüssig ausgeleitet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem stickstoffreiche Luftprodukte zu einem Anteil von höchstens 2%, bezogen auf die in das Destillationssäulensystem (10)

eingespeiste gesamte Luftmenge, der Hochdrucksäule (11) entnommen und aus der Luftzerlegungsanlage (100) gasförmig ausgeleitet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der zweite Booster (5) und der dritte Booster (6) jeweils mittels Entspannungsmaschinen (7, 8) angetrieben werden, in denen ein weiterer Teil der auf das Ausgangsdruckniveau verdichteten Luft parallel entspannt wird, der zuvor abgekühlt und anschließend in das Destillationssäulensystem (10) eingespeist wird. 5
4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem die Entspannung der Luft in den Entspannungsmaschinen (7, 8), die den zweiten Booster (5) und den dritten Booster (6) antreiben, auf das Hochdrucksäulendruckniveau erfolgt. 10
5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem die Luft durch die Entspannung auf das Hochdrucksäulendruckniveau in den Entspannungsmaschinen (7, 8), die den zweiten Booster (5) und den dritten Booster (6) antreiben, teilverflüssigt wird, wobei der gasförmig verbleibende Anteil in die Hochdrucksäule (11) und der verflüssigte Anteil in die Niederdrucksäule (12) eingespeist wird. 15
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem ein weiterer Anteil der auf das Ausgangsdruckniveau verdichteten Luft abgekühlt und ausgehend von dem Ausgangsdruckniveau in die Hochdrucksäule (11) entspannt wird. 20
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Luft, die dem zweiten Booster (5) zugeführt wird, zuvor auf ein Temperaturniveau von 130 bis 200 K abgekühlt wird. 25
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 7, bei dem die Luft, die in den Entspannungsmaschinen (7, 8) entspannt wird, die den zweiten Booster (5) und den dritten Booster (6) antreiben, vor ihrer Entspannung auf ein Temperaturniveau von 120 bis 190 K abgekühlt wird. 30
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Luft, die in der ersten Entspannungsmaschine (9) entspannt wird, zuvor auf ein Temperaturniveau von 150 bis 230 K abgekühlt wird. 35
10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die in dem dritten Booster (6) druckerhöhte Luft vor ihrer Entspannung in die Hochdrucksäule (11) auf ein Temperaturniveau von 97 bis 105 K abgekühlt wird. 40
11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, 45

bei dem die Druckerhöhung in dem zweiten Booster (5) eine Druckerhöhung um 10 bis 25 bar und in dem dritten Booster (6) eine Druckerhöhung um 5 bis 15 bar ist.

12. Luftzerlegungsanlage (100) zur Tieftemperaturzerlegung von Luft, die ein Destillationssäulensystem (10) mit einer für einen Betrieb auf einem Hochdrucksäulendruckniveau eingerichteten Hochdrucksäule (11) und einer für einen Betrieb auf einem Niederdrucksäulendruckniveau eingerichteten Niederdrucksäule (12) aufweist, wobei die Luftzerlegungsanlage (100) Mittel aufweist, die dazu eingerichtet sind

- die gesamte, in das Destillationssäulensystem (10) eingespeiste Luft zunächst auf ein Ausgangsdruckniveau zu verdichten, das mindestens 4 und bis zu 20 bar oberhalb des Hochdrucksäulendruckniveaus liegt,
- einen Teil der auf das Ausgangsdruckniveau verdichteten Luft einer ersten Druckerhöhung auf einem oberhalb 0 °C liegenden ersten Temperaturniveau und anschließend zwei weiteren Druckerhöhungen auf unterhalb des ersten Temperaturniveaus liegenden Temperaturniveaus zu unterwerfen und anschließend unter Verwendung eines Drosselventils (14) in die Hochdrucksäule (11) zu entspannen, und
- der Niederdrucksäule (12) eine tiefkalte, sauerstoffreiche Flüssigkeit zu entnehmen, diese tiefkalte, sauerstoffreiche Flüssigkeit in tiefkaltem Zustand einer Druckerhöhung zu unterwerfen, anschließend zu erwärmen und zu verdampfen und aus der Luftzerlegungsanlage (100) auszuleiten,

dadurch gekennzeichnet, dass

- für die erste Druckerhöhung ein erster Booster (2) bereitgestellt ist, der mit einer ersten Entspannungsmaschine (9) mechanisch gekoppelt ist, wobei Mittel vorgesehen sind, die dazu eingerichtet sind, einen weiteren Teil der auf das Ausgangsdruckniveau verdichteten Luft in der ersten Entspannungsmaschine (9) von dem Ausgangsdruckniveau auf das Niederdrucksäulendruckniveau zu entspannen und anschließend in die Niederdrucksäule (12) einzuspeisen,
- für die zwei weiteren Druckerhöhungen ein zweiter Booster (5) und ein dritter Booster (6) bereitgestellt sind und Mittel vorgesehen sind, die dazu eingerichtet sind, die Luft für die zwei weiteren Druckerhöhungen nacheinander durch den zweiten Booster (5) und den dritten Booster (6) zu führen und dabei die Luft dem dritten Booster (6) auf einem Temperaturniveau

zuzuführen, auf dem sie den zweiten Booster (5) verlässt,

- Mittel vorgesehen sind, die dazu eingerichtet sind, durch den ersten Booster (2), den zweiten Booster (5) und den dritten Booster (6) jeweils insgesamt Luftmengen zu führen, die sich um nicht mehr als 10% voneinander unterscheiden, 5
- Mittel vorgesehen sind, die dazu eingerichtet sind, die Druckerhöhung, der die der Niederdrucksäule (12) entnommene tiefkalte, sauerstoffreiche Flüssigkeit in tiefkaltem Zustand unterworfen wird, in Form einer Druckerhöhung auf 6 bis 25 bar vorzunehmen, und 10
- die Luftzerlegungsanlage (100) dazu eingerichtet ist, Luftprodukte zu einem Anteil von höchstens 1%, bezogen auf die gesamte, in das Destillationssäulensystem (10) eingespeiste Luftmenge, flüssig bereitzustellen 15

13. Luftzerlegungsanlage (100) nach Anspruch 12, die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 eingerichtet ist. 20

25

30

35

40

45

50

55

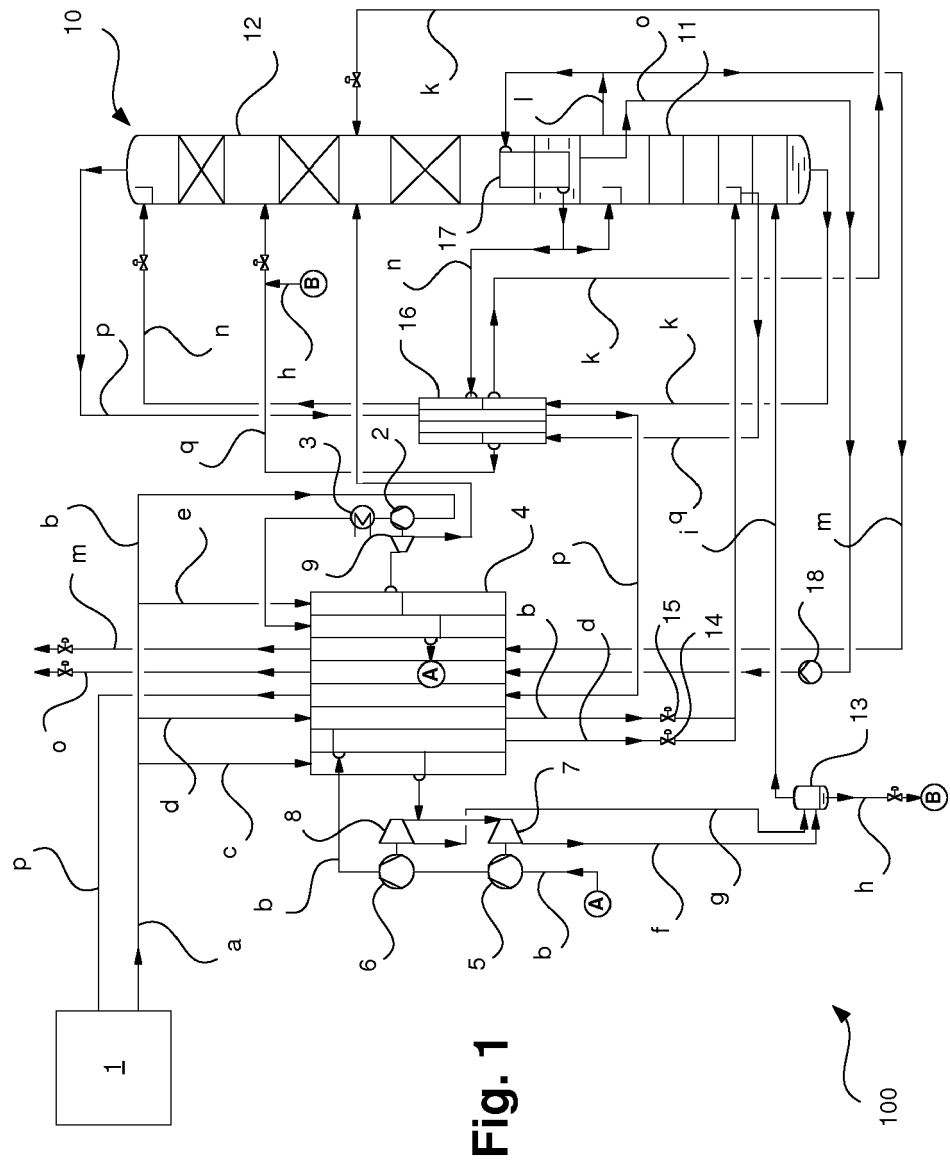


Fig. 1

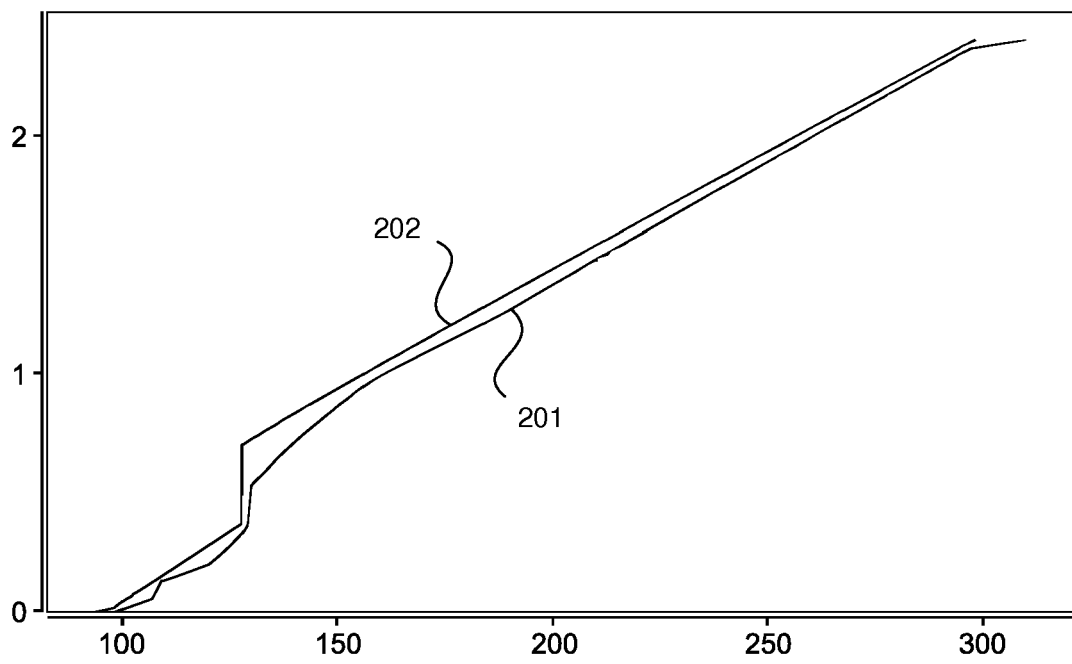


Fig. 2

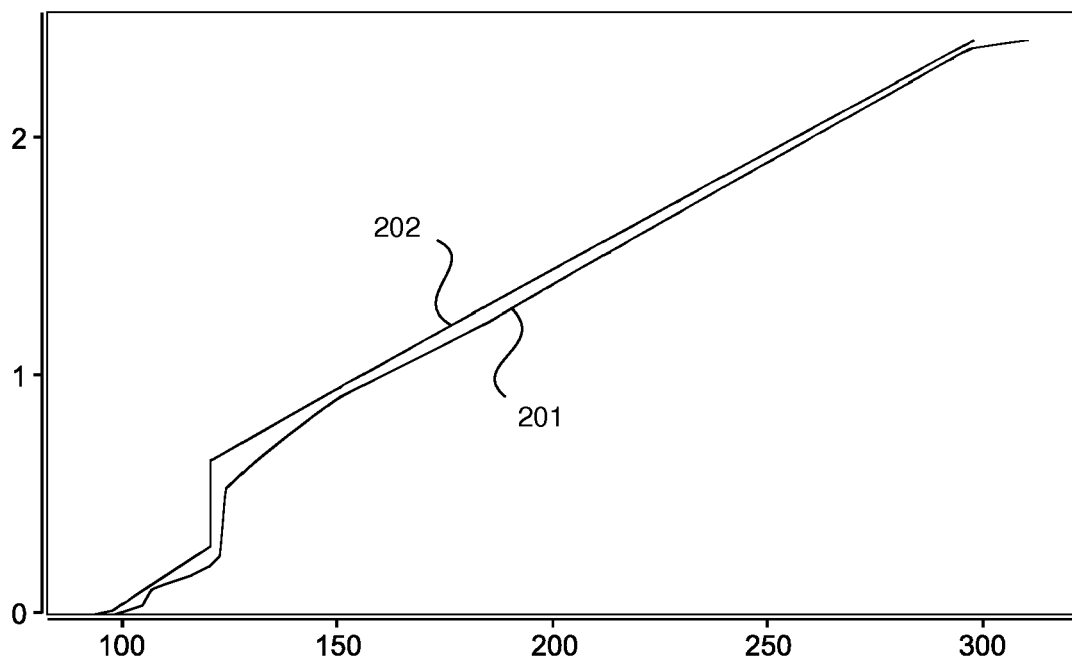


Fig. 3



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 16 02 0464

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	US 5 475 980 A (GRENIER MAURICE [US] ET AL) 19. Dezember 1995 (1995-12-19) * Spalte 1, Zeilen 17-18 * * Spalte 4, Zeile 65 - Spalte 5, Zeilen 13,21-25; Abbildung 4 * * Spalte 6, Zeilen 5-28 *	1-13	INV. F25J3/04
Y	EP 2 520 886 A1 (LINDE AG [DE]) 7. November 2012 (2012-11-07) * Absätze [0015], [0034]; Abbildung 1 *	1-13	
Y	DE 10 2007 014643 A1 (LINDE AG [DE]) 20. September 2007 (2007-09-20) * Abbildung 1 *	1-13	
A	WO 2015/082860 A2 (AIR LIQUIDE [FR]) 11. Juni 2015 (2015-06-11) * Seite 6, Zeilen 31-32; Abbildung 3 * * Seite 9, Zeilen 20-27 *	1,3-5,12	
A	US 2013/255313 A1 (HA BAO [US] ET AL) 3. Oktober 2013 (2013-10-03) * Absätze [0050], [0052] - [0055]; Abbildung 3 *	1,3-5,9, 11,12	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F25J
A	US 2005/126221 A1 (HA BAO [US] ET AL) 16. Juni 2005 (2005-06-16) * Absätze [0003], [0048] - [0055], [0061]; Abbildungen 2,5 *	7-10	
E	EP 3 101 374 A2 (LINDE AG [DE]) 7. Dezember 2016 (2016-12-07) * Abbildung 2 *	1-13	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 27. April 2017	Prüfer Göritz, Dirk
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 16 02 0464

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

27-04-2017

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5475980 A	19-12-1995	KEINE	
EP 2520886 A1	07-11-2012	KEINE	
DE 102007014643 A1	20-09-2007	KEINE	
WO 2015082860 A2	11-06-2015	FR 3014545 A1 WO 2015082860 A2	12-06-2015 11-06-2015
US 2013255313 A1	03-10-2013	CN 104204699 A EP 2831525 A2 US 2013255313 A1 WO 2013148799 A2	10-12-2014 04-02-2015 03-10-2013 03-10-2013
US 2005126221 A1	16-06-2005	BR PI0417444 A CA 2548797 A1 CN 1890525 A EP 1700072 A1 US 2005126221 A1 WO 2005057112 A1	06-03-2007 23-06-2005 03-01-2007 13-09-2006 16-06-2005 23-06-2005
EP 3101374 A2	07-12-2016	CN 106247758 A EP 3101374 A2 US 2016356547 A1	21-12-2016 07-12-2016 08-12-2016

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Cryogenic Rectification. Industrial Gases Processing. Wiley-VCH, 2006 [0002]
- The Lachmann Principle. **F.G. KERRY**. Industrial Gas Handbook: Gas Separation and Purification. CRC Press, 2006 [0026]