



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
03.02.2016 Patentblatt 2016/05

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

(21) Anmeldenummer: **14002683.2**

(22) Anmeldetag: **31.07.2014**

(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

(71) Anmelder: **Linde Aktiengesellschaft**
80331 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Lautenschlager, Tobias**
82194 Gröbenzell (DE)
• **Golubev, Dimitri, Dr.**
80804 München (DE)

(74) Vertreter: **Imhof, Dietmar**
Linde AG
Legal Services Intellectual Property
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14
82049 Pullach (DE)

(54) **Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft und Luftzerlegungsanlage**

(57) Es wird ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft (AIR) in einer Luftzerlegungsanlage (100) mit einem Hauptluftverdichter (2), einem Hauptwärmetauscher (4) und einem Destillationssäulensystem (10) mit einer auf einem ersten Druckniveau betriebenen Niederdrucksäule (11) und einer auf einem zweiten Druckniveau betriebenen Hochdrucksäule (12) vorgeschlagen, bei dem ein Einsatzluftstrom (a), der die gesamte, der Luftzerlegungsanlage (100, 200) zugeführte Einsatzluft umfasst, in dem Hauptluftverdichter (2) auf ein drittes Druckniveau verdichtet wird, welches mindestens 2 bar oberhalb des zweiten Druckniveaus liegt, wobei von dem verdichteten Einsatzluftstrom (b) ein erster Anteil (c) mindestens einmal in dem Hauptwärmetauscher (4) abgekühlt und von dem dritten Druckniveau in einer ersten Entspannungsturbine (5) entspannt wird, ein zweiter Anteil (d) mindestens einmal in dem Hauptwärmetauscher (4) abgekühlt und ausgehend von dem dritten Druckniveau in einer zweiten Entspannungsturbine (6) entspannt wird, und ein dritter Anteil (e) weiter auf ein viertes Druckniveau verdichtet, mindestens einmal in dem Hauptwärmetauscher (4) abgekühlt und ausgehend von dem vierten Druckniveau entspannt wird, wobei Luft des ersten Anteils (c) und/oder des zweiten Anteils (d) und/oder des dritten Anteils (e) auf dem ersten und/oder auf dem zweiten Druckniveau in das Destillationssäulensystem (10) eingespeist wird. Es ist vorgesehen, dass der dritte Anteil (e) nacheinander in einem Nachverdichter (7), einem ersten Turbinenbooster und einem zweiten Turbinenbooster auf das vierte Druckniveau weiter verdichtet wird, und zum Entspannen des dritten Anteils (e) ein Dichtfluidexpander (8) verwendet wird, dem der dritte Anteil (e) in flüssigem Zustand und auf dem vierten

Druckniveau zugeführt wird. Eine Luftzerlegungsanlage (100) ist ebenfalls Gegenstand der Erfindung.

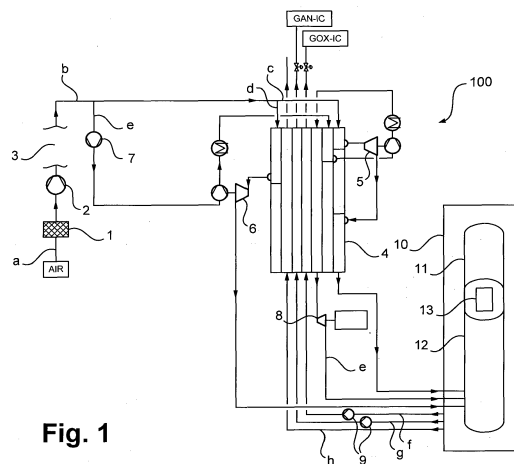


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft in einer Luftzerlegungsanlage sowie eine entsprechende 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 in der Fachliteratur, beispielsweise bei H.-W. Häring (Hrsg.), Industrial Gases Processing, Wiley-VCH 2006, insbesondere Abschnitt 2.2.5, "Cryogenic Rectification", beschrieben. Luftzerlegungsanlagen weisen Destillationssäulensysteme auf, die beispielsweise als Zweisäulensysteme, insbesondere als klassische Linde-Doppelsäulensysteme, aber auch als Drei- oder Mehrsäulensysteme ausgebildet sein können. Neben den Destillationssäulen zur Gewinnung von Stickstoff und/oder Sauerstoff in flüssigem und/oder gasförmigem Zustand (beispielsweise flüssigem Sauerstoff, LOX, gasförmigem Sauerstoff, GOX, flüssigem Stickstoff, LIN und/oder gasförmigem Stickstoff, GAN), also den Destillationssäulen zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung, können Destillationssäulen zur Gewinnung weiterer Luftkomponenten, insbesondere der Edelgase Krypton, Xenon und/oder Argon, vorgesehen sein.

[0003] Die Destillationssäulensysteme werden bei unterschiedlichen Betriebsdrücken in ihren jeweiligen Destillationssäulen betrieben. Bekannte Doppelsäulensysteme weisen beispielsweise eine sogenannte Hochdrucksäule (bisweilen auch lediglich als Drucksäule bezeichnet) und eine sogenannte Niederdrucksäule auf. Der Betriebsdruck der Hochdrucksäule beträgt beispielsweise 4,3 bis 6,9 bar, vorzugsweise etwa 5,0 bar. Die Niederdrucksäule wird bei einem Betriebsdruck von beispielsweise 1,3 bis 1,7 bar, vorzugsweise etwa 1,5 bar, betrieben. Bei den hier und im Folgenden angegebenen Drücken handelt es sich um Absolutdrücke.

[0004] Bei der Luftzerlegung können sogenannte High-Air-Pressure-Verfahren (HAP-Verfahren) eingesetzt werden. Bei einem HAP-Verfahren wird die gesamte, der Luftzerlegungsanlage zugeführte bzw. die in einem entsprechenden Verfahren insgesamt eingesetzte Luft (als Einsatzluft bezeichnet) in einem Hauptluftverdichter auf einen Druck verdichtet, der deutlich über dem höchsten Betriebsdruck des Destillationssäulensystems, typischerweise also deutlich über dem Betriebsdruck der Hochdrucksäule, liegt. Der Druckunterschied beträgt mindestens 2 oder 4 bar und vorzugsweise zwischen 6 und 16 bar. Beispielsweise ist der Druck mindestens doppelt so hoch wie der Betriebsdruck der Hochdrucksäule. HAP-Verfahren sind z.B. aus der EP 2 466 236 A1, der EP 2 458 311 A1 und der US 5 329 776 A bekannt.

[0005] Bei HAP-Verfahren lassen sich aufgrund der

stärkeren Verdichtung die zur Luftreinigung erforderlichen Behälter- und Leitungsdimensionen verringern. Ferner sinkt der absolute Wassergehalt der verdichteten Luft. Je nach den vorliegenden Randbedingungen kann auf eine Kälteanlage zur Luftreinigung verzichtet werden.

[0006] In HAP-Verfahren kann die im Hauptluftverdichter verdichtete Luftmenge ferner von der Prozessluftmenge entkoppelt werden. In einem derartigen Fall wird nur ein Teil der auf den genannten Druck verdichteten Einsatzluft als sogenannte Prozessluft genutzt, also für die eigentliche Rektifikation verwendet und in die Hochdrucksäule eingespeist. Ein weiterer Teil wird zur Gewinnung von Kälte entspannt, wobei die Kältemenge unabhängig von der Prozessluft eingestellt werden kann. Eine derartige Entkopplung ist jedoch nicht in allen HAP-Verfahren vorgesehen.

[0007] Ferner sind Verfahren bekannt, bei denen die Einsatzluft in dem Hauptluftverdichter nur auf den höchsten Betriebsdruck des Destillationssäulensystems, typischerweise also nur den Betriebsdruck der Hochdrucksäule oder geringfügig darüber, verdichtet wird. Ein Teil der Einsatzluft kann daher nach Abkühlung ohne weitere Entspannung in das Destillationssäulensystem eingespeist werden. Nur bestimmte Anteile, die beispielsweise zur zusätzlichen Kälteproduktion oder auch zur Erwärmung flüssiger Ströme (siehe sogleich) benötigt werden, werden in einem oder mehreren Nachverdichtern weiter verdichtet. Derartige Verfahren mit Haupt- und Nachverdichter(n) werden auch als MAC/BAC-Verfahren (engl. Main Air Compressor/Booster Air Compressor) bezeichnet. In einem MAC/BAC-Verfahren wird also nicht die gesamte Einsatzluft, sondern nur ein Teil auf einen Druck deutlich über dem höchsten Betriebsdruck des Destillationssäulensystems verdichtet.

[0008] Bei der Luftzerlegung kann die sogenannte Innenverdichtung zum Einsatz kommen. Bei der Innenverdichtung wird dem Destillationssäulensystem ein flüssiger Strom entnommen und zumindest zum Teil flüssig auf Druck gebracht. Der flüssig auf Druck gebrachte Strom wird in einem Hauptwärmetauscher der Luftzerlegungsanlage gegen einen Wärmeträger erwärmt und verdampft oder, beim Vorliegen entsprechender Drücke, vom flüssigen in den überkritischen Zustand überführt. Bei dem flüssigen Strom kann es sich insbesondere um flüssigen Sauerstoff, jedoch auch um Stickstoff oder Argon handeln. Die Innenverdichtung wird damit zur Gewinnung entsprechender gasförmiger Druckprodukte eingesetzt. Der Vorteil an Innenverdichtungsverfahren ist unter anderem, dass entsprechende Fluide nicht außerhalb der Luftzerlegungsanlage in gasförmigem Zustand verdichtet werden müssen, was sich häufig als sehr aufwendig erweist und/oder beträchtliche Sicherheitsmaßnahmen erfordert. Auch die Innenverdichtung ist in der eingangs zitierten Fachliteratur beschrieben.

[0009] Nachfolgend wird für die Überführung aus dem flüssigen in den überkritischen oder gasförmigen Zustand der Sammelbegriff "Entflüssigung" verwendet. Die Überführung aus dem überkritischen oder gasförmigen

in den flüssigen Zustand, deren Produkt eine eindeutig definierte Flüssigkeit ist, wird als "Verflüssigung" bezeichnet.

[0010] Gegen den zu entflüssigenden Strom wird ein Wärmeträger verflüssigt. Der Wärmeträger wird dabei üblicherweise durch einen Teil der der Luftzerlegungsanlage zugeführten Luft gebildet. Um den flüssig auf Druck gebrachten Strom effizient erwärmen und entflüssigen zu können, muss dieser Wärmeträger aufgrund thermodynamischer Gegebenheiten einen höheren Druck als der flüssig auf Druck gebrachte Strom aufweisen. Daher muss ein entsprechend hoch verdichteter Strom bereitgestellt werden. Dieser wird auch als "Drosselstrom" bezeichnet, weil er herkömmlicherweise mittels eines Entspannungsventils ("Drossel") entspannt, hierdurch zumindest zum Teil entflüssigt und in das verwendete Destillationssäulensystem eingespeist wird.

[0011] Die Herstellung von innenverdichtetem, gasförmigem Sauerstoff mittels HAP-Verfahren ist insbesondere aufgrund des Wegfalls eines Nachverdichters zur Bereitstellung eines entsprechend hoch verdichteten Stroms vergleichsweise kostengünstig und in unterschiedlichen Ausgestaltungen realisierbar. In bestimmten Fällen können sich jedoch MAC/BAC-Verfahren als energetisch günstiger erweisen, was insbesondere auf den Einsatz einer Turbine (statt des herkömmlichen Entspannungsventils) zurückzuführen ist, der der Drosselstrom im flüssigen Zustand bei überkritischem Druck zugeführt und in weiterhin flüssigem Zustand bei unterkritischem Druck entnommen wird. Eine derartige Turbine wird im Rahmen dieser Anmeldung als Dichtfluidexpander bezeichnet (engl. Dense Liquid Expander bzw. Dense Fluid Expander, DLE). Die energetischen Vorteile eines derartigen Dichtfluidexpanders sind ebenfalls in der eingangs zitierten Fachliteratur, beispielsweise Abschnitt 2.2.5.6, "Apparatus", Seite 48 und 49, beschrieben.

[0012] Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, die mit den HAP-Verfahren verbundenen niedrigen Investitionskosten mit den Effizienzvorteilen von herkömmlichen MAC/BAC-Verfahren zu kombinieren.

Offenbarung der Erfindung

[0013] Vor diesem Hintergrund schlägt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Einsatzluft in einer Luftzerlegungsanlage sowie eine entsprechende Luftzerlegungsanlage mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vor. Bevorzugte Ausgestaltungen sind jeweils Gegenstand der abhängigen Patentansprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0014] Vor der Erläuterung der Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden deren Grundlagen und die verwendeten Begriffe erläutert.

[0015] Eine "Entspannungsturbine" bzw. "Entspannungsmaschine", die über eine gemeinsame Welle mit weiteren Entspannungsturbinen oder Energiewandlern

wie Ölbremse, Generatoren oder Verdichtern gekoppelt sein kann, ist zur Entspannung eines gasförmigen oder zumindest teilweise flüssigen Stroms eingerichtet. Insbesondere können Entspannungsturbinen zum Einsatz in der vorliegenden Erfindung als Turboexpander ausgebildet sein. Wird ein Verdichter mit einer oder mehreren Entspannungsturbinen angetrieben, jedoch ohne extern, beispielsweise mittels eines Elektromotors, zugeführte Energie, wird der Begriff "turbinengetriebener Verdichter" oder alternativ "Turbinenbooster" verwendet.

[0016] Ein "Verdichter" ist eine Vorrichtung, die zum Verdichten wenigstens eines gasförmigen Stroms von wenigstens einem Eingangsdruck, bei dem dieser dem Verdichter zugeführt wird, auf wenigstens einen Enddruck, bei dem dieser dem Verdichter entnommen wird, eingerichtet ist. Ein Verdichter bildet eine bauliche Einheit, die jedoch mehrere "Verdichterstufen" in Form von Kolben-, Schrauben- und/oder Schaufelrad- bzw. Turbinenanordnungen (also Axial- oder Radialverdichterstufen) aufweisen kann. Dies gilt auch insbesondere für den "Haupt(luft)verdichter" einer Luftzerlegungsanlage, der sich dadurch auszeichnet, dass durch diesen die gesamte oder der überwiegende Anteil der in die Luftzerlegungsanlage eingespeisten Luftmenge, also der gesamte Einsatzluftstrom, verdichtet wird. Ein "Nachverdichter", in dem in MAC/BAC-Verfahren ein Teil der im Hauptluftverdichter verdichteten Luftmenge auf einen nochmals höheren Druck gebracht wird, ist häufig ebenfalls mehrstufig ausgebildet. Insbesondere werden entsprechende Verdichterstufen mittels eines gemeinsamen Antriebs, beispielsweise über eine gemeinsame Welle, angetrieben.

[0017] Herkömmlicherweise kommen in MAC/BAC-Verfahren Nachverdichter zum Einsatz, die mittels extern zugeführter Energie angetrieben werden, in HAP-Verfahren finden sich derartige Nachverdichter nicht. Turbinenbooster sind jedoch typischerweise in beiden Fällen vorhanden, insbesondere um bei der Entspannung zur Kälteproduktion freiwerdende Wellenleistung sinnvoll nutzen zu können.

[0018] Ein "Wärmetauscher" dient zur indirekten Übertragung von Wärme zwischen zumindest zwei z.B. im Gegenstrom zueinander geführten Strömen, beispielsweise einem warmen Druckluftstrom und einem oder mehreren kalten Strömen oder einem tiefkalten flüssigen Luftprodukt und einem oder mehreren warmen Strömen. Ein Wärmetauscher kann aus einem einzelnen oder mehreren parallel und/oder seriell verbundenen Wärmetauscherabschnitten gebildet sein, z.B. aus einem oder mehreren Plattenwärmetauscherblöcken. Ein Wärmetauscher, beispielsweise auch der in einer Luftzerlegungsanlage eingesetzte "Hauptwärmetauscher", der sich dadurch auszeichnet, dass durch ihn der Hauptanteil der abzukühlenden bzw. zu erwärmenden Ströme abgekühlt bzw. erwärmt wird, weist "Passagen" auf, die als voneinander getrennte Fluidkanäle mit Wärmeaustauschflächen ausgebildet sind.

[0019] Die vorliegende Anmeldung verwendet zur

Charakterisierung von Drücken und Temperaturen die Begriffe "Druckniveau" und "Temperaturniveau", wodurch zum Ausdruck gebracht werden soll, dass entsprechende 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 oder zu erwartende Druckverluste, beispielsweise aufgrund von Abkühlungseffekten, ein. Entsprechendes gilt für Temperaturniveaus.

Vorteile der Erfindung

[0020] Das erfindungsgemäße Verfahren verwendet eine Luftzerlegungsanlage mit einem Hauptluftverdichter, einem Hauptwärmetauscher und einem Destillationssäulensystem mit einer auf einem ersten Druckniveau betriebenen Niederdrucksäule und einer auf einem zweiten Druckniveau betriebenen Hochdrucksäule. Die genannten und weitere verwendete Druckniveaus sind unten im Detail angegeben.

[0021] In dem erfindungsgemäßen Verfahren wird ein Einsatzluftstrom, der die gesamte, der Luftzerlegungsanlage zugeführte Einsatzluft umfasst, in dem Hauptluftverdichter auf ein drittes Druckniveau verdichtet, welches mindestens 2 bar, insbesondere mindestens 4 bar, oberhalb des zweiten Druckniveaus liegt. Das dritte Druckniveau kann beispielsweise auch das Doppelte des zweiten Druckniveaus betragen. Es wird also ein HAP-Verfahren durchgeführt.

[0022] Von dem verdichteten Einsatzluftstrom wird ein erster Anteil mindestens einmal in dem Hauptwärmetauscher abgekühlt und in einer ersten Entspannungsturbine ausgehend von dem dritten Druckniveau entspannt. Unter "mindestens einmal abgekühlt" wird hier und im Folgenden verstanden, dass ein entsprechender Strom vor und/oder nach der Entspannung mindestens einmal zumindest durch einen Abschnitt des Hauptwärmetauschers geführt wird.

[0023] Ein zweiter Anteil wird ähnlich behandelt, d.h. ebenfalls mindestens einmal in dem Hauptwärmetauscher abgekühlt und in einer zweiten Entspannungsturbine ausgehend von dem dritten Druckniveau entspannt. Bei dem zweiten Anteil handelt es sich um den sogenannten Turbinenstrom, seine Entspannung erfolgt, um in einer entsprechenden Anlage zusätzliche Kälte bereitzustellen und diese regeln zu können.

[0024] Ein dritter Anteil wird auf ein viertes Druckniveau weiter verdichtet und dann ebenfalls mindestens einmal in dem Hauptwärmetauscher abgekühlt und ausgehend von dem vierten Druckniveau entspannt. Bei

dem dritten Anteil handelt es sich um den sogenannten Drosselstrom, der, wie zuvor erläutert, insbesondere die Innenverdichtung ermöglicht.

[0025] Luft des ersten Anteils und/oder des zweiten Anteils und/oder des dritten Anteils wird anschließend auf dem ersten und/oder auf dem zweiten Druckniveau in das Destillationssäulensystem eingespeist. Typischerweise wird dabei die gesamte Luft des ersten Anteils auf dem zweiten Druckniveau in die Hochdrucksäule eingespeist. Die gesamte oder ein Teil der Luft des zweiten Anteils kann auf dem ersten Druckniveau in die Niederdrucksäule und/oder auf dem zweiten Druckniveau in die Hochdrucksäule eingespeist werden. Entsprechendes gilt für den dritten Anteil.

[0026] Die vorliegende Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass eine Kombination eines HAP-Verfahrens verbunden mit der energetischen Effizienz eines MAC/BAC-Verfahrens sowohl hinsichtlich der Erstellungs- als auch hinsichtlich der Betriebskosten einer Luftzerlegungsanlage besonders vorteilhaft ist. Wie erläutert, ist insbesondere der Einsatz eines Dichtfluidexpanders aus energetischer Sicht (also hinsichtlich der Betriebskosten) besonders günstig, wohingegen der Einsatz eines HAP-Verfahrens geringe Erstellungskosten ermöglicht. Der Einsatz eines Dichtfluidexpanders ist jedoch in herkömmlichen HAP-Verfahren nicht vorteilhaft, weil die durch einen Dichtfluidexpander erzielbare Energieeinsparung an die an dem Dichtfluidexpander auftretende Druckdifferenz gekoppelt ist. Bei geringeren Eintrittsdrücken und damit geringeren Druckdifferenzen ist der Einsatz insgesamt weniger lohnend. Auch die durch die erhöhten Drücke eines MAC/BAC-Verfahrens verbesserten Q,T-Profile lassen sich herkömmlicherweise mittels eines HAP-Verfahrens nicht erreichen.

[0027] Bei HAP-Verfahren ist der Enddruck des Hauptluftverdichters (hier also das "dritte Druckniveau") sowohl von den Innenverdichtungsdrücken, also den Drücken der mittels Innenverdichtung bereitzustellenden gasförmigen Luftprodukte, als auch von der Menge der zu gewinnenden flüssigen Luftprodukte abhängig. Erstere Abhängigkeit ergibt sich aus der im Wesentlichen durch den Druck eingestellten Verdampfungskapazität eines entsprechenden Stroms, letztere aus der durch die Entnahme der flüssigen Luftprodukte "entzogenen" Kältemenge, die durch Entspannung eines weiteren Stroms ausgeglichen werden muss.

[0028] Da die Luftmenge des Einsatzluftstroms, also die Luftmenge der gesamten, durch den Hauptluftverdichter verdichteten Einsatzluft, durch die Menge der erzeugten Luftprodukte festgelegt ist, kann der Anlage aber nur über eine Variation des Enddrucks des Hauptluftverdichters mehr oder weniger Exergie zugeführt werden. Aufgrund technisch-ökonomischer Grenzen (eingesetzte Rohrklassen) ist dieser typischerweise auf ca. 23 bar limitiert.

[0029] Unter diesen Randbedingungen kann in herkömmlichen HAP-Verfahren kein ausreichender Druck zur Verfügung gestellt werden, der den Einsatz einer

Flüssigturbine vorteilhaft erscheinen lässt. Wie erwähnt, ist der Einsatz einer Flüssigturbine nur dann technisch vorteilhaft, wenn hierüber eine ausreichende Druckdifferenz erzielt werden kann.

[0030] Die vorliegende Erfindung schlägt daher vor, den dritten Anteil nacheinander in einem Nachverdichter, einem ersten Turbinenbooster und einem zweiten Turbinenbooster auf das vierte Druckniveau weiter zu verdichten. Es werden also statt den üblichen maximal zwei Verdichtungsschritten, die typischerweise durch zwei Turbinenbooster realisiert sind, zumindest drei Verdichtungsschritte eingesetzt, von denen zwei durch jeweils einen Turbinenbooster und einer durch einen Nachverdichter realisiert werden. Hierdurch kann ein deutlich höheres viertes Druckniveau erzielt werden.

[0031] Wie erwähnt, kommen herkömmlicherweise zwar in MAC/BAC-Verfahren, jedoch nicht in HAP-Verfahren, Nachverdichter zum Einsatz, die mittels extern zugeführter Energie angetrieben werden. Die vorliegende Erfindung schlägt jedoch ebendies vor. Bei dem im Rahmen der vorliegenden Erfindung eingesetzten Nachverdichter handelt es sich um einen mit externer Energie angetriebenen Verdichter, der also nicht oder zumindest nicht ausschließlich durch Entspannung eines zuvor in der Luftzerlegungsanlage selbst verdichteten Fluids angetrieben wird. Zu den unterschiedlichen Möglichkeiten, einen erfindungsgemäß bereitgestellten Nachverdichter mit externer Energie anzutreiben, sei auf die Erläuterungen unten verwiesen.

[0032] Die Erfindung ermöglicht durch die genannte Verdichtung eine Bereitstellung des dritten Anteils (Drosselstrom) auf einem deutlich erhöhten vierten Druckniveau, das den Einsatz eines Dichtfluidexpanders energetisch sinnvoll macht. Daher ist erfindungsgemäß vorgesehen, zum Entspannen des dritten Anteils einen entsprechenden Dichtfluidexpander zu verwenden, dem der dritte Anteil in flüssigem Zustand und auf dem vierten (überkritischen) Druckniveau zugeführt wird.

[0033] Der dritte Anteil (Drosselstrom) kann dem zweiten Turbinenbooster insbesondere je nach der Menge des oder der flüssigen Luftprodukte, die in einer entsprechenden Luftzerlegungsanlage gewonnen und dieser entnommen werden sollen, auf unterschiedlichen Temperaturniveaus zugeführt werden.

[0034] Für eine Bereitstellung größerer Mengen eines oder mehrerer flüssiger Luftprodukte hat es sich als besonders vorteilhaft erwiesen, den dritten Anteil dem ersten Turbinenbooster auf einem Temperaturniveau von 0 bis 50 °C und dem zweiten Turbinenbooster auf einem Temperaturniveau von -40 bis 50 °C zuzuführen. Der zweite Turbinenbooster ist daher kein typischer Kaltverdichter, also kein "kalter" Turbinenbooster. Zwar wird diesem der dritte Anteil (Drosselstrom) ggf. deutlich unterhalb der Umgebungstemperatur zugeführt, stromab des zweiten Turbinenboosters liegt seine Temperatur jedoch oberhalb der Umgebungstemperatur.

[0035] Sollen einer entsprechenden Luftzerlegungsanlage größere Mengen von Luftprodukten flüssig ent-

nommen werden, sind "kalte" Turbinenbooster weniger vorteilhaft, weil die gesamte zur Verfügung stehende Kälteleistung zur Bereitstellung dieser flüssigen Luftprodukte verwendet wird. Ein kalter Turbinenbooster trägt aber unvermeidlich Wärme in das System ein, da die Verdichtungswärme aus dem verdichteten Strom typischerweise nicht in einem Nachkühler, sondern nur im Hauptwärmetauscher, verbunden mit einem entsprechendem Wärmeeintrag, abgeführt werden kann. Ein bei höheren Eintrittstemperaturen betriebener Turbinenbooster, bei dem der verdichtete Strom deutlich höhere Temperaturen aufweist als beispielsweise vorhandenes Kühlwasser, ermöglicht eine effektive Wärmeabfuhr in einem üblichen Nachkühler. Durch das Abführen der Verdichtungswärme stromab des zweiten Turbinenboosters ist die Verdichtung in diesem weitgehend wärmeneutral, da die Verdichtungsarbeit hier durch den Nachkühler kompensiert wird.

[0036] Insgesamt erlaubt die Verwendung eines bei den erwähnten höheren Eintrittstemperaturen betriebenen zweiten Turbinenboosters daher eine Entnahme einer vergleichsweise großen Menge von 3 bis 10 Mol.-% des Einsatzluftstroms in Form von flüssigen Luftprodukten, beispielsweise flüssigem Sauerstoff (LOX), flüssigem Stickstoff (LIN) und/oder flüssigem Argon (LAR).

[0037] Für eine Luftzerlegungsanlage, die hingegen überwiegend oder ausschließlich gasförmige Luftprodukte bereitstellen soll (die aber auch beispielsweise mittels Innenverdichtungsverfahren aus flüssigen Zwischenprodukten gewonnen werden können), ist es hingegen vorteilhaft, den dritten Anteil dem ersten Turbinenbooster auf einem Temperaturniveau von 0 bis 50 °C und dem zweiten Turbinenbooster auf einem Temperaturniveau von -140 bis -20 °C zuzuführen. Der zweite Turbinenbooster ist in diesem Fall ein typischer Kaltverdichter, also ein "kalter" Turbinenbooster. Diesem wird der dritte Anteil (Drosselstrom) unterhalb der Umgebungstemperatur zugeführt, stromab des zweiten Turbinenboosters liegt seine Temperatur weiterhin (deutlich) unterhalb der Umgebungstemperatur. Die Temperatur des in dem zweiten Turbinenboosters verdichteten dritten Anteils kann direkt stromab des zweiten Turbinenboosters beispielsweise bei -90 bis 20 °C liegen.

[0038] Ein kalter Turbinenbooster trägt Wärme in das System ein, da die Verdichtungswärme aus dem verdichteten Strom typischerweise nicht in einem Nachkühler, der mit Kühlwasser betrieben wird, sondern nur im Hauptwärmetauscher selbst, verbunden mit einem entsprechenden Wärmeeintrag, abgeführt wird. Ein kalter Turbinenbooster ermöglicht durch diesen im vorliegenden Fall gewollten Wärmeeintrag eine besonders gute Erwärmung und Entflüssigung von Innenverdichtungsprodukten und eignet sich für Luftzerlegungsanlagen zur Erzeugung großer Mengen entsprechender gasförmiger Druckprodukte und vergleichsweise geringer Mengen an flüssigen Luftprodukten.

[0039] Insgesamt erlaubt die Verwendung eines bei den erwähnten niedrigen Eintrittstemperaturen betrieb-

nen zweiten Turbinenboosters daher eine Entnahme einer vergleichsweise geringen Menge von bis zu 3 Mol.-% des Einsatzluftstroms in Form von flüssigen Luftprodukten, beispielsweise flüssigem Sauerstoff (LOX), flüssigem Stickstoff (LIN) und/oder flüssigem Argon (LAR). Die Erfindung sieht vorteilhafterweise vor, die genannten Turbinenbooster jeweils mit einer der Entspannungsturbinen anzutreiben, beispielsweise den ersten Turbinenbooster mit der zweiten Entspannungsturbine und den zweiten Turbinenbooster mit der ersten Entspannungsturbine.

[0040] Der zusätzlich zur Verdichtung des dritten Anteils (Drosselstrom) eingesetzte Nachverdichter wird hingegen mit externer Energie angetrieben, also nicht über zugeordnete Entspannungsturbinen, die jeweils Luftanteile des Einsatzluftstroms entspannen. Vorteilhaft kann beispielsweise sein, den Nachverdichter mit Hochdruckfluid und/oder elektrisch und/oder zusammen mit einer Verdichterstufe des Hauptluftverdichters anzutreiben. In letzterem Fall sind zumindest eine Verdichterstufe des Hauptluftverdichters und zumindest eine Verdichterstufe des Nachverdichters beispielsweise auf einer gemeinsamen Welle angeordnet. Auch ein Einsatz mehrerer entsprechender Maßnahmen gleichzeitig kann erfolgen.

[0041] Besonders vorteilhaft ist es, den dritten Anteil vor und nach dem weiteren Verdichten in dem zweiten Turbinenbooster in dem Hauptwärmetauscher abzukühlen. Der dritte Anteil wird dem Hauptwärmetauscher dabei auf geeigneten Temperaturniveaus entnommen bzw. zugeführt. Wie erläutert, kann ferner in Fällen, in denen der zweite Turbinenbooster bei den erwähnten höheren Temperaturen betrieben wird, eine zusätzliche Nachkühlung stromab des zweiten Turbinenboosters und vor einer erneuten Einspeisung in den Hauptwärmetauscher vorgesehen sein. Wird dagegen der zweite Turbinenbooster bei den erwähnten geringeren Temperaturen betrieben, ist dies, wie erläutert, nicht der Fall.

[0042] Die Abkühlung in dem Hauptwärmetauscher nach dem Nachverdichten in dem zweiten Turbinenbooster erfolgt dabei vorteilhafterweise von einem Temperaturniveau, das sich nach der Ein- und Austrittstemperatur des zweiten Turbinenboosters und einer möglichen Nachkühlung richtet, also von beispielsweise 10 bis 50 °C oder -90 bis 20 °C auf ein Temperaturniveau von -140 bis -180 °C.

[0043] Vorteilhaft kann auch sein, wenn der erste Anteil vor dem Entspannen in der ersten Entspannungsturbine in dem Hauptwärmetauscher auf ein Temperaturniveau von 0 bis -150 °C abgekühlt wird. Vorteilhafterweise wird der erste Anteil nach dem Entspannen in der ersten Entspannungsturbine in dem Hauptwärmetauscher auf ein Temperaturniveau von -130 bis -180 °C abgekühlt. Mit anderen Worten wird der erste Anteil nach der Entspannung in der ersten Entspannungsturbine also nochmals durch den Hauptwärmetauscher geführt.

[0044] Der zweite Anteil wird vorteilhafterweise vor dem Entspannen in der zweiten Entspannungsturbine in dem Hauptwärmetauscher auf ein Temperaturniveau

von -50 bis -150 °C abgekühlt.

[0045] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung beträgt vorteilhafterweise das erste Druckniveau 1 bis 2 bar und/oder das zweite Druckniveau 5 bis 6 bar und/oder das dritte Druckniveau 8 bis 23 bar und/oder das vierte Druckniveau 50 bis 70 bar Absolutdruck, wenn der zweite Turbinenbooster bei den erwähnten höheren Temperaturen betrieben wird. Wird der zweite Turbinenbooster bei den erwähnten niedrigeren Temperaturen betrieben, beträgt vorteilhafterweise das erste Druckniveau 1 bis 2 bar und/oder das zweite Druckniveau 5 bis 6 bar und/oder das dritte Druckniveau 8 bis 23 bar und/oder das vierte Druckniveau 50 bis 70 bar Absolutdruck. Das dritte Druckniveau lässt sich dabei jeweils noch mit üblichen HAP-Hauptluftverdichtern erreichen, das vierte, insbesondere mit Hilfe des genannten Nachverdichters erzielte Druckniveau ermöglicht den Einsatz eines Dichtfluidexpansers. Das vierte Druckniveau liegt dabei bei überkritischem Druck.

[0046] Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es insbesondere, dem Destillationssäulensystem zumindest ein flüssiges Luftprodukt zu entnehmen, flüssig mit Druck zu beaufschlagen, in dem Hauptwärmetauscher zu verdampfen oder in den überkritischen Zustand zu überführen (zu "entflüssigen") und als wenigstens ein Innenverdichtungsprodukt aus der Luftzerlegungsanlage auszuführen, also wie mehrfach erwähnt zum Einsatz mit einem Innenverdichtungsverfahren.

[0047] Das wenigstens eine Innenverdichtungsprodukt kann bei einem Druck von 6 bar bis 100 bar aus der Luftzerlegungsanlage ausgeführt werden. Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich aufgrund des zusätzlichen, oben erläuterten Wärmeeintrags insbesondere zur Bereitstellung von Innenverdichtungsprodukten bei vergleichsweise hohem Druck, d.h. bei mindestens 30 bar, wenn der zweite Turbinenbooster bei den erwähnten geringeren Temperaturen betrieben wird.

[0048] Zu den Merkmalen der erfindungsgemäßen Luftzerlegungsanlage sei auf den entsprechenden Vorrichtungsanspruch verwiesen. Eine derartige Luftzerlegungsanlage weist insbesondere sämtliche Mittel auf, die sie zur Durchführung eines zuvor erläuterten Verfahrens befähigen. Auf die Merkmale und Vorteile, die zuvor erläutert wurden, wird daher ausdrücklich verwiesen.

[0049] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung näher erläutert, welche bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung zeigen.

[0050] Kurze Beschreibung der Zeichnung

Figur 1 zeigt eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in Form eines schematischen Anlagendiagramms.

Figur 2 zeigt eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in Form eines schematischen Anlagendiagramms.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnung

[0051] In Figur 1 ist eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung schematisch dargestellt und insgesamt mit 100 bezeichnet. Der Luftzerlegungsanlage 100 wird Einsatzluft (AIR) in Form eines Einsatzluftstroms a zugeführt, durch ein Filter 1 vorgereinigt und anschließend einem Hauptluftverdichter 2 zugeführt. Der Hauptluftverdichter 2 ist stark schematisiert veranschaulicht. Der Hauptluftverdichter 2 verfügt typischerweise über mehrere Verdichterstufen, die über eine gemeinsame Welle mit einem oder mehreren Elektromotoren angetrieben werden können.

[0052] Stromab des Hauptluftverdichters 2 wird der in diesem verdichtete Einsatzluftstrom a, bei dem es sich hier um die gesamte, in der Luftzerlegungsanlage 100 behandelte Einsatzluft handelt, einer nicht dargestellten Reinigungseinrichtung 3 zugeführt und dort beispielsweise von Restfeuchtigkeit und Kohlendioxid befreit. Es wird ein verdichteter (und aufgereinigter) Einsatzluftstrom b erhalten, der stromab der Reinigungseinrichtung 3 auf einem Druckniveau von beispielsweise 15 bis 23 bar, im Rahmen dieser Anmeldung als drittes Druckniveau bezeichnet, vorliegt. Das dritte Druckniveau liegt im dargestellten Beispiel deutlich über dem Betriebsdruck einer typischen Hochdrucksäule einer Luftzerlegungsanlage, wie eingangs erläutert. Es handelt sich damit um ein HAP-Verfahren.

[0053] Der Einsatzluftstrom b wird nacheinander in die Ströme c, d und e aufgeteilt. Der Strom c wird im Rahmen dieser Anmeldung als erster Anteil, der Strom d als zweiter Anteil und der Strom e als dritter Anteil des Einsatzluftstroms b bezeichnet.

[0054] Die Ströme c und d werden getrennt voneinander warmseitig einem Hauptwärmetauscher 4 der Luftzerlegungsanlage 100 zugeführt und diesem auf unterschiedlichen Zwischentemperaturniveaus wieder entnommen. Der Strom c wird nach der Entnahme aus dem Hauptwärmetauscher 4 in einer Entspannungsturbine 5, die im Rahmen dieser Anmeldung als erste Entspannungsturbine bezeichnet wird, auf ein Druckniveau von beispielsweise 5 bis 6 bar, das im Rahmen dieser Anmeldung als zweites Druckniveau bezeichnet wird, entspannt, und nochmals durch einen Abschnitt des Hauptwärmetauschers 4 geführt. Der Strom d wird nach der Entnahme aus dem Hauptwärmetauscher 4 in einer Entspannungsturbine 6, die im Rahmen dieser Anmeldung als zweite Entspannungsturbine bezeichnet wird, ebenfalls auf das zweite Druckniveau entspannt.

[0055] Bei dem Strom e handelt es sich um den sogenannten Drosselstrom, der insbesondere die Innenverdichtung ermöglicht. Der Strom e wird hierzu zunächst in einem Nachverdichter 7 und anschließend in zwei Turbinenboostern, die jeweils durch die erste Entspannungsturbine 5 und die zweite Entspannungsturbine 6 angetrieben werden (nicht gesondert bezeichnet), nachverdichtet. Der durch die zweite Entspannungsturbine 6

angetriebene Turbinenbooster wird hier als erster Turbinenbooster, der durch die erste Entspannungsturbine 5 angetriebene Turbinenbooster hingegen als zweiter Turbinenbooster bezeichnet. Grundsätzlich kann die Zuordnung der Turbinenbooster zu den Entspannungsturbinen 5, 6 auch umgekehrt sein. Die Nachverdichtung erfolgt auf ein Druckniveau von beispielsweise 50 bis 70 bar, das im Rahmen dieser Anmeldung als viertes Druckniveau bezeichnet wird. Stromab des Nachverdichters 7 und stromauf der Turbinenbooster liegt der Strom e auf einem Druckniveau von beispielsweise 26 bis 36 bar vor. Der Nachverdichter 7 wird mit externer Energie, d.h. nicht durch eine Entspannung von verdichteten Luftanteilen des Einsatzluftstroms b, angetrieben.

[0056] Nach den Nachverdichtungsschritten in den zwei Turbinenboostern wird der Strom e jeweils in nicht gesondert bezeichneten Nachkühlern der Turbinenbooster auf eine Temperatur rückgekühlt, die etwa der Kühlwassertemperatur entspricht. Eine weitere Abkühlung erfolgt wie dargestellt mittels des Hauptwärmetauschers 4 je nach Bedarf. Auf dem vierten Druckniveau wird der Strom e also nochmals durch einen Nachkühler und danach durch den Hauptwärmetauscher 4 geführt und anschließend in einem Dichtfluidexpander 8 entspannt. Das vierte Druckniveau liegt deutlich oberhalb des kritischen Drucks für Stickstoff und oberhalb des kritischen Drucks für Sauerstoff.

[0057] Nach der Abkühlung in dem Hauptwärmetauscher 4 und stromauf des Dichtfluidexpanders 8 befindet sich der Strom e in flüssigem Zustand bei überkritischem Druck. Der Dichtfluidexpander 8 ist beispielsweise mit einem Generator oder einer Ölbremse gekoppelt (ohne Bezeichnung). Nach der Entspannung liegt der Strom e hier auf dem zweiten Druckniveau vor. Er ist weiterhin flüssig, befindet sich jedoch auf einem unterkritischen Druck.

[0058] Das Destillationssäulensystem 10 ist stark vereinfacht gezeigt. Es umfasst zumindest eine auf einem Druckniveau von 1 bis 2 bar (hier als erstes Druckniveau bezeichnet) betriebene Niederdrucksäule 11 und eine auf dem zweiten Druckniveau betriebene Hochdrucksäule 12 eines Doppelsäulensystems, in dem die Niederdrucksäule 11 und die Hochdrucksäule 12 über einen Hauptkondensator 13 in wärmetauschender Verbindung stehen. Auf die konkrete Darstellung von die Niederdrucksäule 11 und die Hochdrucksäule 12 speisenden und diese und den Hauptkondensator 13 verbindenden Leitungen, Ventilen, Pumpen, weiteren Wärmetauschern und dergleichen wurde der Übersichtlichkeit halber verzichtet.

[0059] Die Ströme c, d und e werden im dargestellten Beispiel in die Hochdrucksäule 12 eingespeist. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, beispielsweise den Strom d und/oder den Strom e nach entsprechender Entspannung in die Niederdrucksäule 11 und/oder Anteile nicht in das Destillationssäulensystem einzuspeisen.

[0060] Dem Destillationssäulensystem 10 können im dargestellten Beispiel die Ströme f, g und h entnommen

werden. Die Luftzerlegungsanlage 100 ist zur Durchführung eines Innenverdichtungsverfahrens eingerichtet, wie mehrfach erläutert. Im dargestellten Beispiel werden die Ströme f und g, bei denen es sich um einen flüssigen, sauerstoffreichen Strom f und einen flüssigen, stickstoffreichen Strom g handeln kann, daher mittels Pumpen 9 in flüssigem Zustand druckbeaufschlagt und in dem Hauptwärmetauscher 4 verdampft oder, je nach Druck, vom flüssigen in den überkritischen Zustand überführt. Fluid der Ströme f und g kann der Luftzerlegungsanlage 100 als innenverdichteter Sauerstoff (GOX-IC) bzw. innenverdichteter Stickstoff (GAN-IC) entnommen werden. Der Strom h veranschaulicht einen oder mehrere dem Destillationssäulensystem 10 in gasförmigem Zustand auf dem ersten Druckniveau entnommene Ströme.

[0061] In Figur 2 ist eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung schematisch dargestellt und insgesamt mit 200 bezeichnet. Gleiche oder vergleichbare Anlagenkomponenten und Ströme wie in der in Figur 1 gezeigten Luftzerlegungsanlage 100 sind mit identischen Bezugszeichen angegeben und werden nicht wiederholt erläutert.

[0062] Der Einsatzluftstrom b liegt auch hier stromab der Reinigungseinrichtung 3 auf einem dritten Druckniveau vor, das jedoch hier beispielsweise 9 bis 17 bar beträgt. Das vierte Druckniveau, auf das der Strom e (Drosselstrom) verdichtet wird, beträgt hier beispielsweise 30 bis 80 bar. Während der Strom e auch hier nach dem Nachverdichtungsschritt in dem ersten Turbinenbooster in einem nicht gesondert bezeichneten Nachkühler auf eine Temperatur rückgekühlt wird, die etwa der Kühlwassertemperatur entspricht, erfolgt eine Abkühlung stromab des zweiten Turbinenboosters nur mittels des Hauptwärmetauschers 4, nicht jedoch mittels eines Nachkühlers wie in der Luftzerlegungsanlage 100 gemäß Figur 1. Da der zweite Turbinenbooster als "kalter" Turbinenbooster betrieben wird, liegt der Strom e stromab dieses zweiten Turbinenboosters auf einem entsprechend tiefen Temperaturniveau deutlich unterhalb der Umgebungstemperatur vor.

[0063] Im dargestellten Beispiel der Luftzerlegungsanlage 100 erfolgt der Antrieb des Nachverdichters 7 gemeinsam mit einer oder mehreren Verdichterstufen des Hauptluftverdichters 2 und unter Verwendung eines Druckfluids, z.B. Druckdampf, das in einer Entspannungsturbine (nicht gesondert bezeichnet) entspannt wird. Wie erwähnt, eignet sich eine Luftzerlegungsanlage 100 gemäß Figur 1, bei der der zweite Turbinenbooster als "warmer" Turbinenbooster betrieben wird, besonders für die Bereitstellung größerer Mengen flüssiger Luftprodukte (nicht dargestellt), eine Luftzerlegungsanlage 200 gemäß Figur 2 hingegen, bei der der zweite Turbinenbooster als "kalter" Turbinenbooster betrieben wird, besonders für die Bereitstellung von gasförmigen Innenverdichtungsprodukten auf hohem Druck.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft (AIR) in einer Luftzerlegungsanlage (100, 200) mit einem Hauptluftverdichter (2), einem Hauptwärmetauscher (4) und einem Destillationssäulensystem (10) mit einer auf einem ersten Druckniveau betriebenen Niederdrucksäule (11) und einer auf einem zweiten Druckniveau betriebenen Hochdrucksäule (12), bei dem

- ein Einsatzluftstrom (a), der die gesamte, der Luftzerlegungsanlage (100, 200) zugeführte Einsatzluft umfasst, in dem Hauptluftverdichter (2) auf ein drittes Druckniveau verdichtet wird, welches mindestens 2 bar oberhalb des zweiten Druckniveaus liegt, wobei von dem verdichteten Einsatzluftstrom (b)

- ein erster Anteil (c) mindestens einmal in dem Hauptwärmetauscher (4) abgekühlt und ausgehend von dem dritten Druckniveau in einer ersten Entspannungsturbine (5) entspannt wird,

- ein zweiter Anteil (d) mindestens einmal in dem Hauptwärmetauscher (4) abgekühlt und ausgehend von dem dritten Druckniveau in einer zweiten Entspannungsturbine (6) entspannt wird, und

- ein dritter Anteil (e) weiter auf ein viertes Druckniveau verdichtet, mindestens einmal in dem Hauptwärmetauscher (4) abgekühlt und ausgehend von dem vierten Druckniveau entspannt wird, wobei

- Luft des ersten Anteils (c) und/oder des zweiten Anteils (d) und/oder des dritten Anteils (e) auf dem ersten und/oder auf dem zweiten Druckniveau in das Destillationssäulensystem (10) eingespeist wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

- der dritte Anteil (e) nacheinander in einem Nachverdichter (7), einem ersten Turbinenbooster und einem zweiten Turbinenbooster auf das vierte Druckniveau weiter verdichtet wird, und

- zum Entspannen des dritten Anteils (e) ein Dichtfluidexpander (8) verwendet wird, dem der dritte Anteil (e) in flüssigem Zustand und auf dem vierten Druckniveau zugeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der dritte Anteil (e) dem ersten Turbinenbooster auf einem Temperaturniveau von 0 bis 50 °C und dem zweiten Turbinenbooster auf einem Temperaturniveau von -40 bis 50 °C zugeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem der Luftzerlegungsanlage (100, 200) wenigstens ein flüssiges Luftprodukt in einem Anteil von 3 bis 10 Mol.-% des Einsatzluftstroms (a) entnommen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, bei dem der dritte Anteil (e) nach dem Nachverdichten in dem zweiten Turbinenbooster in einem Nachkühler ausgehend von einem Temperaturniveau oberhalb der Umgebungstemperatur und danach in dem Hauptwärmetauscher (4) von einem Temperaturniveau von 10 bis 50 °C auf ein Temperaturniveau von -140 bis -180 °C abgekühlt wird. 5
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem das erste Druckniveau bei 1 bis 2 bar, das zweite Druckniveau bei 5 bis 6 bar, das dritte Druckniveau bei 8 bis 23 bar und/oder das vierte Druckniveau bei 50 bis 70 bar Absolutdruck liegt. 10
6. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der dritte Anteil (e) dem ersten Turbinenbooster auf einem Temperaturniveau von 0 bis 50 °C und dem zweiten Turbinenbooster auf einem Temperaturniveau von -140 bis -20 °C zugeführt wird. 15 20
7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem der Luftzerlegungsanlage (100, 200) wenigstens ein flüssiges Luftprodukt in einem Anteil von bis zu 3 Mol.-% des Einsatzluftstroms (a) entnommen wird. 25
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, bei dem der dritte Anteil (e) nach dem Nachverdichten in dem zweiten Turbinenbooster in dem Hauptwärmetauscher (4) ausgehend von einem Temperaturniveau von -90 bis 20 °C auf ein Temperaturniveau von -140 bis -180 °C abgekühlt wird. 30
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, bei dem das erste Druckniveau bei 1 bis 2 bar, das zweite Druckniveau bei 5 bis 6 bar, das dritte Druckniveau bei 9 bis 17 bar und/oder das vierte Druckniveau bei 30 bis 80 bar Absolutdruck liegt. 35
10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Turbinenbooster jeweils mit einer der Entspannungsturbinen (5, 6) angetrieben werden. 40
11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Nachverdichter (7) mit Hochdruckfluid und/oder elektrisch und/oder zusammen mit einer Verdichterstufe des Hauptluftverdichters (2) angetrieben wird. 45
12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der erste Anteil (c) in dem Hauptwärmetauscher (4) vor dem Entspannen auf ein Temperaturniveau von 0 bis -150 °C abgekühlt wird. 50
13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der erste Anteil (c) in dem Hauptwärmetauscher (4) nach dem Entspannen auf ein Temperaturniveau von -150 bis -180 °C abgekühlt wird. 55
14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der zweite Anteil (d) in dem Hauptwärmetauscher (4) vor dem Entspannen auf ein Temperaturniveau von -100 bis -160 °C abgekühlt wird.
15. Luftzerlegungsanlage (100), die zur Tieftemperaturzerlegung von Luft (AIR) gemäß einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14 eingerichtet ist und einen Hauptluftverdichter (2), einen Hauptwärmetauscher (4) und ein Destillationssäulensystem (10) mit einer auf einem ersten Druckniveau betriebenen Niederdrucksäule (11) und einer auf einem zweiten Druckniveau betriebenen Hochdrucksäule (12) aufweist, wobei die Luftzerlegungsanlage (100) Mittel aufweist die dafür eingerichtet sind,
 - einen Einsatzluftstrom (a), der die gesamte, der Luftzerlegungsanlage (100, 200) zugeführte Einsatzluft umfasst, in dem Hauptluftverdichter (2) auf ein drittes Druckniveau zu verdichten, welches mindestens 2 bar oberhalb des zweiten Druckniveaus liegt, und von dem verdichteten Einsatzluftstrom (b)
 - einen ersten Anteil (c) mindestens einmal in dem Hauptwärmetauscher (4) abzukühlen und ausgehend von dem dritten Druckniveau in einer ersten Entspannungsturbine (5) zu entspannen,
 - einen zweiten Anteil (d) mindestens einmal in dem Hauptwärmetauscher (4) abzukühlen und ausgehend von dem dritten Druckniveau in einer zweiten Entspannungsturbine (6) zu entspannen,
 - einen dritten Anteil (e) weiter auf ein viertes Druckniveau zu verdichten, mindestens einmal in dem Hauptwärmetauscher (4) abzukühlen und ausgehend von dem vierten Druckniveau zu entspannen, und
 - Luft des ersten Anteils (c) und/oder des zweiten Anteils (d) und/oder des dritten Anteils (e) auf dem ersten und/oder auf dem zweiten Druckniveau in das Destillationssäulensystem (10) einzuspeisen,**gekennzeichnet durch** Mittel, die dafür eingerichtet sind,
 - den dritten Anteil (e) nacheinander in einem Nachverdichter (7), einem ersten Turbinenbooster und einem zweiten Turbinenbooster auf das vierte Druckniveau weiter zu verdichten, und
 - den dritten Anteil (e) in einem Dichtfluidexpander (8) zu entspannen und diesem den dritten Anteil (e) in flüssigem Zustand und auf dem vierten Druckniveau zuzuführen.

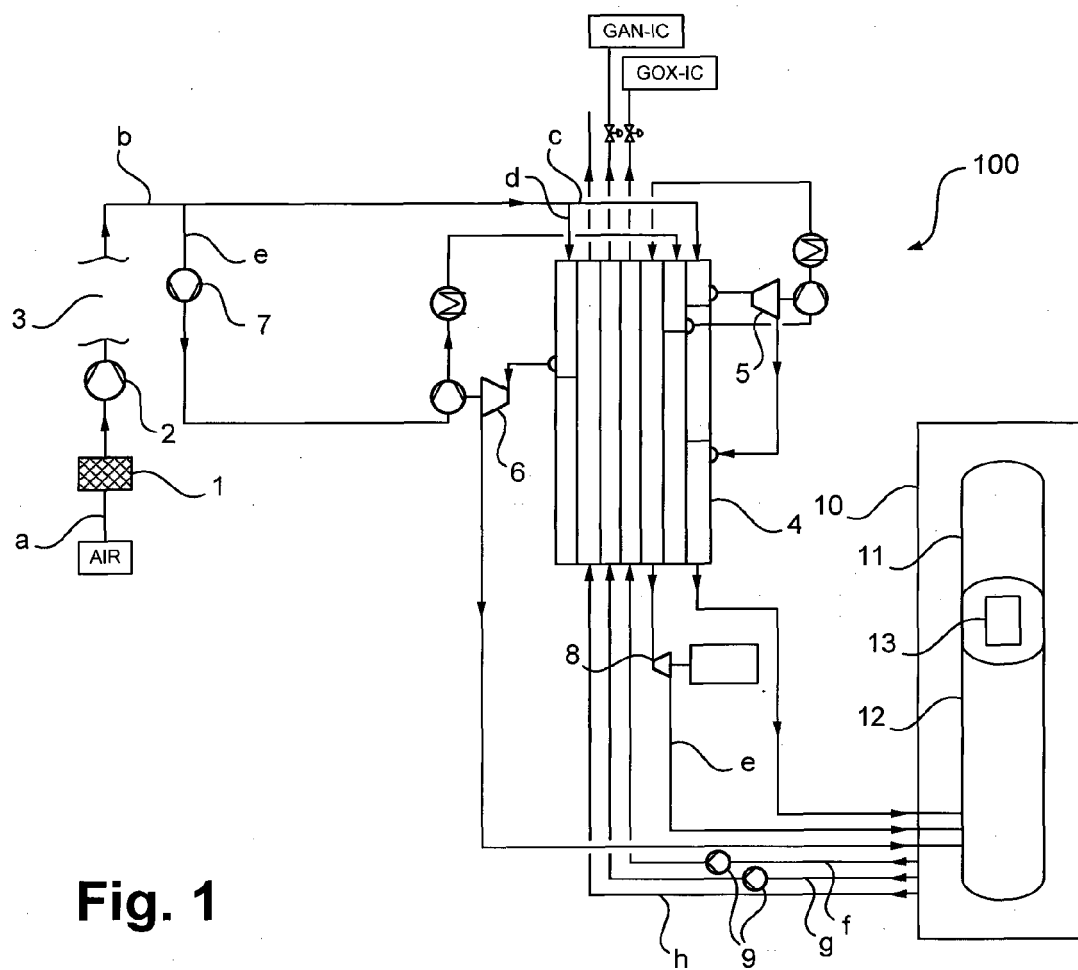


Fig. 1

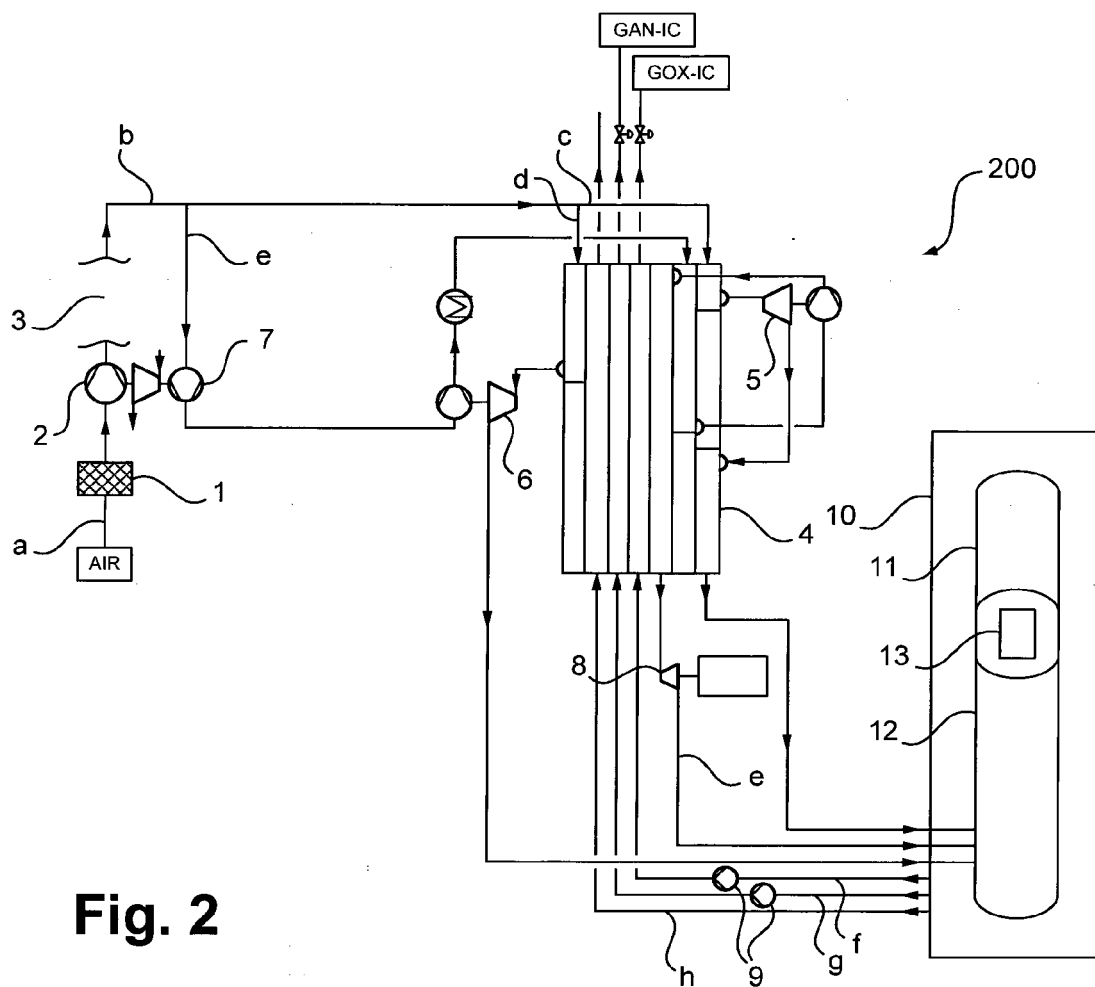


Fig. 2



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 14 00 2683

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 2013/255313 A1 (HA BAO [US] ET AL) 3. Oktober 2013 (2013-10-03) * Abbildung 3 *	1,5, 10-15	INV. F25J3/04
Y	EP 2 520 886 A1 (LINDE AG [DE]) 7. November 2012 (2012-11-07) * Absätze [0031], [0033], [0034], [0045]; Abbildung 2 *	1,5, 10-15	
Y	US 5 564 290 A (BONAQUIST DANTE P [US] ET AL) 15. Oktober 1996 (1996-10-15) * Spalte 3, Zeilen 55-60; Abbildung 2 * * Spalte 5, Zeilen 3-10 *	1-15	
Y	DE 10 2007 014643 A1 (LINDE AG [DE]) 20. September 2007 (2007-09-20) * Absätze [0017], [0018]; Ansprüche 1,7,8; Abbildungen 1,2 *	1-15	
Y	EP 2 634 517 A1 (AIR LIQUIDE [FR]) 4. September 2013 (2013-09-04) * Absätze [0019], [0021], [0022], [0028], [0030], [0036]; Abbildungen 3,6 *	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F25J
A	US 2005/126221 A1 (HA BAO [US] ET AL) 16. Juni 2005 (2005-06-16) * Absätze [0049] - [0055], [0057], [0059], [0061], [0063]; Abbildungen 3,4,5 *	1,2,4,6, 8,11,14	
A	DE 10 2006 012241 A1 (LINDE AG [DE]) 20. September 2007 (2007-09-20) * Absätze [0024], [0029] - [0031] *	1,2,4,6, 8,15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 27. Februar 2015	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 : nichtschriftliche 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 14 00 2683

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente 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.

27-02-2015

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2013255313 A1	03-10-2013	CN 104204699 A	10-12-2014
		EP 2831525 A2	04-02-2015
		US 2013255313 A1	03-10-2013
		WO 2013148799 A2	03-10-2013
EP 2520886 A1	07-11-2012	KEINE	
US 5564290 A	15-10-1996	CA 2182126 A1	30-03-1997
		CN 1147079 A	09-04-1997
		DE 69615488 D1	31-10-2001
		DE 69615488 T2	25-04-2002
		EP 0766054 A2	02-04-1997
		ES 2160748 T3	16-11-2001
		US 5564290 A	15-10-1996
DE 102007014643 A1	20-09-2007	KEINE	
EP 2634517 A1	04-09-2013	CN 103292576 A	11-09-2013
		EP 2634517 A1	04-09-2013
		US 2013219959 A1	29-08-2013
US 2005126221 A1	16-06-2005	BR PI0417444 A	06-03-2007
		CA 2548797 A1	23-06-2005
		CN 1890525 A	03-01-2007
		EP 1700072 A1	13-09-2006
		US 2005126221 A1	16-06-2005
		WO 2005057112 A1	23-06-2005
DE 102006012241 A1	20-09-2007	CN 101421575 A	29-04-2009
		DE 102006012241 A1	20-09-2007
		EP 1994344 A1	26-11-2008
		JP 2009529648 A	20-08-2009
		US 2009188280 A1	30-07-2009
		WO 2007104449 A1	20-09-2007

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 Patentdokumente

- EP 2466236 A1 [0004]
- EP 2458311 A1 [0004]
- US 5329776 A [0004]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Industrial Gases Processing. Wiley-VCH, 2006
[0002]