



(11)

EP 3 175 192 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
02.10.2024 Patentblatt 2024/40

(21) Anmeldenummer: **15742185.0**

(22) Anmeldetag: **28.07.2015**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F25J 3/04 (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
**F25J 3/04412; F25J 3/04018; F25J 3/04024;
F25J 3/04054; F25J 3/04084; F25J 3/0409;
F25J 3/04121; F25J 3/04145; F25J 3/04175;
F25J 3/042; F25J 3/04296; F25J 3/04303;
F25J 3/04387; F25J 3/04393; F25J 2240/10**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2015/001554

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2016/015860 (04.02.2016 Gazette 2016/05)

(54) VERFAHREN ZUR TIEFTEMPERATURZERLEGUNG VON LUFT UND LUFTZERLEGUNGSANLAGE

METHOD FOR THE LOW-TEMPERATURE DECOMPOSITION OF AIR AND AIR SEPARATION PLANT

PROCÉDÉ DE SÉPARATION CRYOGÉNIQUE DE L'AIR ET INSTALLATION DE SÉPARATION D'AIR

(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**

(30) Priorität: **31.07.2014 EP 14002683**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
07.06.2017 Patentblatt 2017/23

(73) Patentinhaber: **Linde GmbH
82049 Pullach (DE)**

(72) Erfinder:

- **LAUTENSCHLAGER, Tobias
82194 Gröbenzell (DE)**

• **GOLUBEV, Dimitri
82538 Geretsried (DE)**

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

(56) Entgegenhaltungen:

EP-A1- 2 520 886	EP-A1- 2 634 517
DE-A1- 102006 012 241	DE-A1- 102007 014 643
US-A- 5 564 290	US-A1- 2005 126 221
US-A1- 2013 255 313	

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingereicht, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

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 Zweisäulenmodelle, insbesondere als klassische Linde-Doppelsäulensysteme, aber auch als Drei- oder Mehrsäulenmodelle 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 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 erforderli-

chen Behälter- und Leitungsdimensionen verringern. Ferner sinkt der absolute Wassergehalt der verdichtenen 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] Die EP 2 520 886 A1 offenbart ein Verfahren zur Erzeugung eines gasförmigen Sauerstoff-Druckprodukts durch Tieftemperaturzerlegung von Luft. In diesem wird ein Luftstrom aus in einem Hauptluftverdichter verdichteter Einsatzluft gebildet und in einem Nachverdich-

tersystem mit mindestens zwei Stufen nachverdichtet. Das Nachverdichtersystem ist adiabat ausgebildet.

[0010] In der DE 10 2007 014 643 A1 ist ein Verfahren offenbart, bei dem die gesamte Einsatzluft auf einen ersten Druck verdichtet wird, der etwas oberhalb des Betriebsdruck einer Hochdrucksäule liegt. Hierzu wird ein Teilstrom durch einen Nachverdichter geführt und dann erneut in zwei Teilströme aufgeteilt, die Boosterturbinen zugeführt werden.

[0011] 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.

[0012] 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.

[0013] Die Herstellung von innenverdichtetem, gasförmigem Sauerstoff mittels HAP-Verfahren ist insbesondere aufgrund des Wegfalls eines Nachverdichters zur Bereitstellung eines entsprechend hoch verdichten 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 bezeichnetet (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.

[0014] 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

[0015] Vordiesem 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.

[0016] Vor der Erläuterung der Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden deren Grundlagen und die verwendeten Begriffe erläutert.

[0017] Eine "Entspannungsturbine" bzw. "Entspannungsmaschine", die über eine gemeinsame Welle mit weiteren Entspannungsturbinen oder Energiewandlern wie Ölbremsen, 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 "turbinetriebener Verdichter" oder alternativ "Turbinenbooster" verwendet.

[0018] 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.

[0019] Herkömmlicherweise kommen in MAC/BAC-Verfahren Nachverdichter zum Einsatz, die mittels extern zugeührter 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.

[0020] 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 Wärmeaus tauschflächen ausgebildet sind.

[0021] 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 erforderliche Konzept zu verwirklichen. Jedoch bewegen sich derartige Drücke und Temperaturen typischerweise in bestimmten Bereichen, die beispielsweise $\pm 1\%$, 5% , 10% oder sogar 20% 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

[0022] 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.

[0023] In dem erfindungsgemäßen Verfahren wird ein Einsatzluftstrom, der die gesamte, der Luftzerlegungs anlage zugeführte Einsatzluft umfasst, in dem Hauptluft verdichter auf ein drittes Druckniveau verdichtet, welches mindestens 6 bar oberhalb des zweiten Druck niveaus liegt. Das dritte Druckniveau kann beispielsweise auch das Doppelte des zweiten Druckniveaus betragen. Es wird also ein HAP-Verfahren durchgeführt.

[0024] Von dem verdichtenen 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 Hauptwärmetauscher geführt wird.

[0025] 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.

5 Bei dem zweiten Anteil handelt es sich um den sogenannten Turbinenstrom, seine Entspannung erfolgt, um in einer entsprechenden Anlage zusätzliche Kälte bereitstellen und diese regeln zu können.

[0026] 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 15 Innenverdichtung ermöglicht.

[0027] 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.

[0028] Die vorliegende Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass eine Kombination eines HAP-Verfahrens verbunden mit der energetischen Effizienz eines 30 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-Profilen lassen sich herkömmlicherweise mittels eines HAP-Verfahrens nicht erreichen.

[0029] Bei HAP-Verfahren ist der Enddruck des Hauptluftverdichters (hier also das "dritte Druckniveau") sowohl von den Innenverdichtungsdrücken, also den Drücken 50 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.

[0030] 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 Energie zugeführt werden. Aufgrund technisch-ökonomischer Grenzen (eingesetzte Rohrklassen) ist dieser typischerweise auf ca. 23 bar limitiert.

[0031] 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.

[0032] 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 Verdichtungsschritte, 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.

[0033] Hierdurch kann ein deutlich höheres viertes Druckniveau erzielt werden. Dabei wird zumindest der erste Turbinenbooster im Warmen betrieben, also nicht als Kaltverdichter. Dies erlaubt einen energetisch besonders günstigen Betrieb des Prozesses. Der Nachverdichter ist bei der Erfindung einstufig, zweistufig oder mehrstufig ausgebildet.

[0034] 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.

[0035] 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.

[0036] 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.

[0037] 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. Auch 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.

[0038] Sollen einer entsprechenden Luftzerlegungsanlage größere Mengen von Luftprodukten flüssig entnommen 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.

[0039] 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).

[0040] 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.

[0041] Ein kalter Turbinenbooster trägt Wärme in das System ein, da die Verdichtungswärme aus dem verdichten 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.

[0042] Insgesamt erlaubt die Verwendung eines bei den erwähnten niedrigen Eintrittstemperaturen betriebenen 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).

[0043] 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.

[0044] 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.

[0045] 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.

[0046] Die Abkühlung in dem Hauptwärmetauscher nach dem Nachverdichten in dem zweiten Turbinenbooster erfolgt dabei vorteilhafterweise von einem Tem-

peraturniveau, 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.

[0047] 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.

[0048] Der zweite Anteil wird vorteilhafterweise vor dem Entspannen in der zweiten Entspannungsturbine in dem Hauptwärmetauscher auf ein Temperaturniveau von -50 bis -150 °C abgekühlt.

[0049] 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. Das dritte Druckniveau liegt jedenfalls mindestens 6 bar oberhalb des zweiten Druckniveaus. 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 liegt jedenfalls mindestens 6 bar oberhalb

des zweiten Druckniveaus. 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 Dichtfluidexpanders. Das

vierte Druckniveau liegt dabei bei überkritischem Druck.

[0050] 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.

[0051] 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.

[0052] Zu den Merkmalen der erfindungsgemäßen Luftzerlegungsanlage sei auf den entsprechenden Vierrichtungsanspruch 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.

[0053] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigegebene Zeichnung näher erläutert, welche bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung zeigen.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0054]

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

[0055] 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.

[0056] 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, nämlich mindestens 6 bar oberhalb des zweiten Druckniveaus. Es handelt sich damit um ein HAP-Verfahren.

[0057] 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 Einsatz-

luftstroms b bezeichnet.

[0058] Die Ströme c und d werden getrennt voneinander warmseitig einem Hauptwärmetauscher 4 der Luftzerlegungsanlage 100 zugeführt und diesem auf unterschiedlichen Zwischentemperaturen aus 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.

[0059] 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.

[0060] 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.

[0061] 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 Ölremse 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.

[0062] 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.

[0063] 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.

[0064] 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.

[0065] 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.

[0066] Der Einsatzluftstrom b liegt auch hier stromab der Reinigungseinrichtung 3 auf einem dritten Druckniveau vor, das jedoch hier beispielsweise 9 bis 17 bar beträgt, aber jedenfalls mindestens 6 bar oberhalb des zweiten Druckniveaus. 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.

[0067] 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.

[0068] 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.

25

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 6 bar oberhalb des zweiten Druckniveaus liegt, wobei von dem verdichten 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) unter Verwendung eines ersten Turbinenboosters, dem der dritte Anteil (e) auf einem Temperaturniveau von 0 bis 50 °C zugeführt wird, und eines zweiten Turbinenboosters weiter auf ein vierthes Druckniveau ver-

dichtet, 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), der mit externer Energie und nicht oder nicht ausschließlich durch Entspannung eines zuvor in der Luftzerlegungsanlage (100, 200) verdichten Fluids angetrieben wird, dem ersten Turbinenbooster und dem 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 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. 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.
6. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der dritte Anteil (e) dem erster zweiten Turbinenbooster auf einem Temperaturniveau von -140 bis -20 °C zugeführt wird.
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.
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.

- 5
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.
- 10
- 15
10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Turbinenbooster jeweils mit einer der Entspannungsturbinen (5, 6) angetrieben werden.
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.
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.
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.
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 6 bar oberhalb des zweiten Druckniveaus liegt, und von dem verdichten 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 entspan-

nen,

- einen zweiten Anteil (d) mindestens einmal in dem Hauptwärmetauscher (4) abzukühlen und ausgehend von dem dritten Druckniveau in einer zweiten Entspannungsturbine (6) zu entspannen,
5

- einen dritten Anteil (e) unter Verwendung eines ersten Turbinenboosters, dem der dritte Anteil (e) auf einem Temperaturniveau von 0 bis 50 °C zugeführt wird, und eines zweiten Turbinenboosters weiter auf ein viertes Druckniveau zu verdichten, mindestens einmal in dem Hauptwärmetauscher (4) abzukühlen und ausgehend von dem vierten Druckniveau zu entspannen, und
10

- 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,
15

gekennzeichnet durch Mittel, die dafür eingerichtet sind,

- den dritten Anteil (e) nacheinander in einem Nachverdichter (7), der dafür eingerichtet ist, mit externer Energie und nicht oder nicht ausschließlich durch Entspannung eines zuvor in der Luftzerlegungsanlage (100, 200) verdichten Fluids angetrieben zu werden, dem ersten Turbinenbooster und dem zweiten Turbinenbooster auf das vierte Druckniveau weiter zu verdichten,
20

- den dritten Anteil (e) in einem Dichtfluidexpander (8) zu entspannen und diesem den dritten Anteil (e) in flüssigem Zustand und auf dem vier-
25

ten Druckniveau zuzuführen.

Claims

1. A method for cryogenic separation of air (AIR) in an air separation plant (100, 200) having a main air compressor (2), a main heat exchanger (4) and a distillation column system (10) having a low-pressure column (11) operated at a first pressure level and a high-pressure column (12) operated at a second pressure level, wherein
40

- a feed air stream (a), which comprises all of the feed air fed to the air separation plant (100, 200), is compressed in the main air compressor (2) to a third pressure level which is at least 6 bar above the second pressure level, wherein, of the compressed feed air stream (b),
50

- a first fraction (c) is cooled at least once in the main heat exchanger (4) and expanded from the third pressure level in a first expansion turbine (5),
55

- a second fraction (d) is cooled at least once in

the main heat exchanger (4) and expanded from the third pressure level in a second expansion turbine (6), and
60

- a third fraction (e) is further compressed to a fourth pressure level using a first turbine booster, to which the third fraction (e) is fed at a temperature level of 0 to 50°C, and using a second turbine booster, cooled at least once in the main heat exchanger (4) and expanded from the fourth pressure level, wherein
65

- air of the first fraction (c) and/or the second fraction (d) and/or the third fraction (e) is fed at the first and/or second pressure level into the distillation column system (10),
70

characterized in that

- the third fraction (e) is further compressed to the fourth pressure level in sequence in a recompressor (7), which is driven by external energy and not or not exclusively by expansion of a fluid previously compressed in the air separation plant (100, 200), the first turbine booster and the second turbine booster, and
75

- for expanding the third fraction (e) use is made of a dense fluid expander (8) to which the third fraction (e) is fed in the liquid state and at the fourth pressure level.
80

2. The method according to claim 1, wherein the third fraction (e) is fed to the second turbine booster at a temperature level of -40 to 50°C.
85
3. The method according to claim 2, wherein at least one liquid air product is withdrawn from the air separation plant (100, 200) in a fraction of 3 to 10 mol% of the feed air stream (a).
90

4. The method according to claim 2 or 3, wherein the third fraction (e), after recompression in the second turbine booster, is cooled in an aftercooler starting from a temperature level above ambient temperature and thereafter cooled in the main heat exchanger (4) from a temperature level of 10 to 50°C to a temperature level of -140 to -180°C.
95

5. The method according to any one of claims 1 to 4, wherein the first pressure level is 1 to 2 bar, the second pressure level is 5 to 6 bar, the third pressure level is 8 to 23 bar and/or the fourth pressure level is 50 to 70 bar absolute pressure.
100

6. The method according to claim 1, wherein the third fraction (e) is fed to the second turbine booster at a temperature level of -140 to -20°C.
105

7. The method according to claim 6, wherein at least one liquid air product is withdrawn from the air separation plant (100, 200) in a fraction of up to 3 mol% of the feed air stream (a).
110

8. The method according to claim 6 or 7, wherein the third fraction (e), after recompression in the second turbine booster, is cooled in the main heat exchanger (4) from a temperature level of -90 to 20°C to a temperature level of -140 to -180°C. 5
9. The method according to any one of claims 6 to 8, wherein the first pressure level is 1 to 2 bar, the second pressure level is 5 to 6 bar, the third pressure level is 9 to 17 bar and/or the fourth pressure level is 30 to 80 bar absolute pressure. 10
10. The method according to any one of the preceding claims, wherein the turbine boosters are each driven by one of the expansion turbines (5, 6). 15
11. The method according to any one of the preceding claims, wherein the recompressor (7) is driven by high-pressure fluid and/or electrically and/or together with a compressor stage of the main air compressor (2). 20
12. The method according to any one of the preceding claims, wherein, before expansion, the first fraction (c) is cooled in the main heat exchanger (4) to a temperature level of 0 to -150°C. 25
13. The method according to any one of the preceding claims, wherein, after expansion, the first fraction (c) is cooled in the main heat exchanger (4) to a temperature level of -150 to -180°C. 30
14. The method according to any one of the preceding claims, wherein, before expansion, the second fraction (d) is cooled in the main heat exchanger (4) to a temperature level of -100 to -160°C. 35
15. An air separation plant (100) which is designed for cryogenic separation of air (AIR) in accordance with a method according to any one of claims 1 to 14 and has a main air compressor (2), a main heat exchanger (4) and a distillation column system (10) having a low-pressure column (11) operated at a first pressure level and a high-pressure column (12) operated at a second pressure level, wherein the air separation plant (100) has means which are designed 40
- to compress a feed air stream (a), which comprises all of the feed air fed to the air separation plant (100, 200), in the main air compressor (2) to a third pressure level which is at least 6 bar above the second pressure level, and, of the compressed feed air stream (b), 45
- to cool a first fraction (c) at least once in the main heat exchanger (4) and to expand it from the third pressure level in a first expansion turbine (5),
- to cool a second fraction (c) at least once in 50
- 55

the main heat exchanger (4) and to expand it from the third pressure level in a second expansion turbine (6),
 - using a first turbine booster, to which the third fraction (e) is fed at a temperature level of 0 to 50°C, and using a second turbine booster, to further compress a third fraction (e) to a fourth pressure level, to cool said third fraction at least once in the main heat exchanger (4) and to expand said third fraction from the fourth pressure level, and
 - to feed air of the first fraction (c) and/or the second fraction (d) and/or the third fraction (e) at the first and/or at the second pressure level into the distillation column system (10),
characterized by means which are configured
 - to further compress the third fraction (e) to the fourth pressure level in sequence in a recompressor (7), which is configured to be driven by external energy and not or not exclusively by expansion of a fluid previously compressed in the air separation plant (100, 200), the first turbine booster and the second turbine booster,
 - to expand the third fraction (e) in a dense fluid expander (8) and to feed the third fraction (e) to said dense fluid expander in a liquid state and at the fourth pressure level.

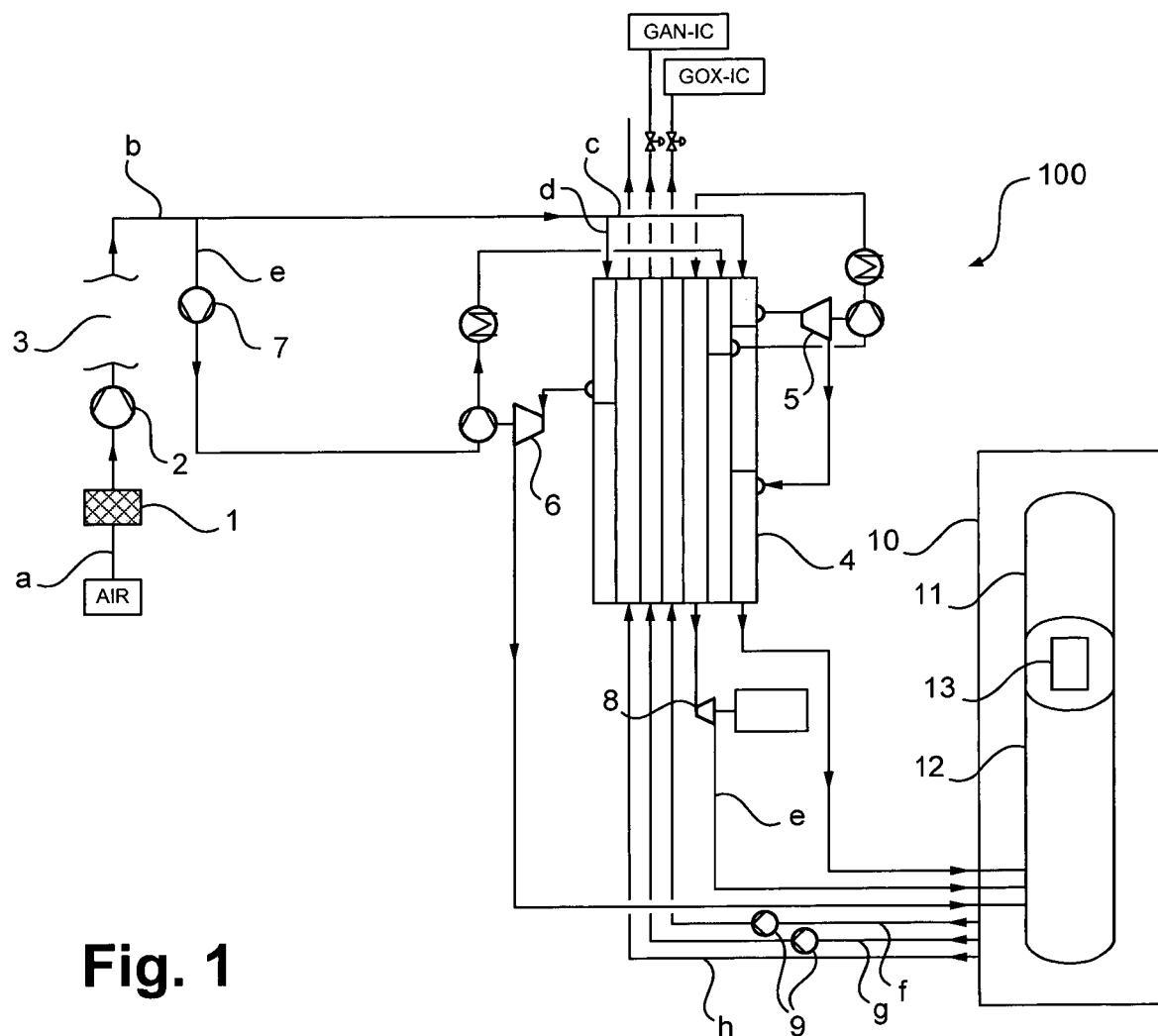
Revendications

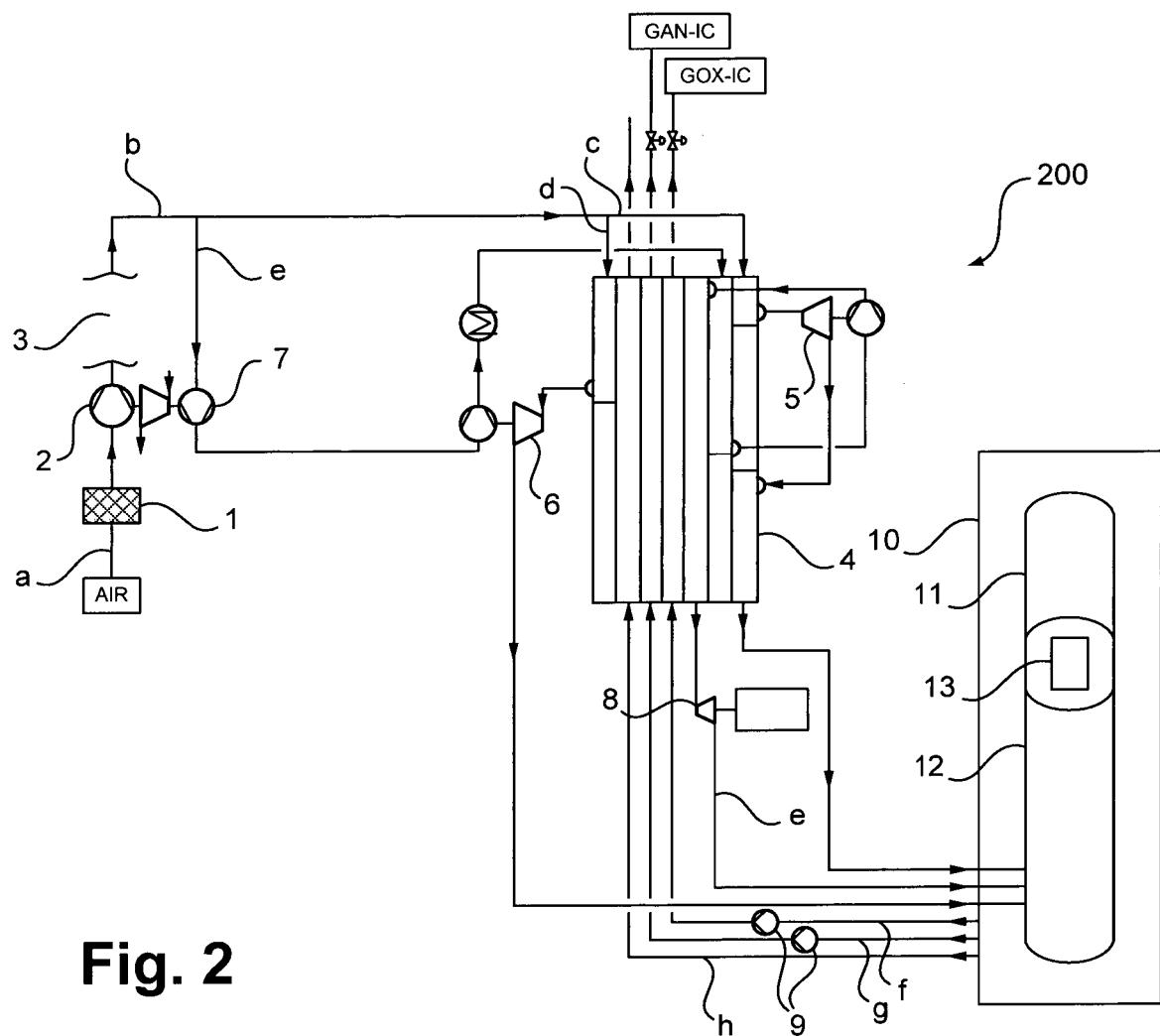
1. Procédé permettant la séparation cryogénique d'air (AIR) dans une installation de séparation d'air (100, 200) comportant un compresseur d'air principal (2), un échangeur de chaleur principal (4) et un système de colonne de distillation (10) comportant une colonne basse pression (11) fonctionnant à un premier niveau de pression et une colonne haute pression (12) fonctionnant à un deuxième niveau de pression, dans lequel
- un flux d'air d'alimentation (a), qui comprend la totalité de l'air d'alimentation amené à l'installation de séparation d'air (100, 200), est comprimé dans le compresseur d'air principal (2) à un troisième niveau de pression qui est supérieur d'au moins 6 bars au deuxième niveau de pression, dans lequel, à partir du flux d'air d'alimentation comprimé (b)
- une première proportion (c) est refroidie au moins une fois dans l'échangeur de chaleur principal (4) et est détendue, à partir du troisième niveau de pression, dans une première turbine de détente (5),
- une deuxième proportion (d) est refroidie au moins une fois dans l'échangeur de chaleur principal (4) et détendue, à partir du troisième niveau de pression, dans une seconde turbine de dé-

- tente (6), et
- une troisième proportion (e) est ensuite comprimée à un quatrième niveau de pression à l'aide d'un premier amplificateur de turbine, auquel la troisième proportion (e) est amenée à un niveau de température allant de 0 à 50 °C, et d'un second amplificateur de turbine, est refroidie au moins une fois dans l'échangeur de chaleur principal (4) et est détendue à partir du quatrième niveau de pression, dans lequel
 - l'air de la première proportion (c) et/ou de la deuxième proportion (d) et/ou de la troisième proportion (e) est injecté dans le système de colonne de distillation (10) au premier et/ou au deuxième niveau de pression,
- caractérisé en ce que**
- la troisième proportion (e) est ensuite comprimée successivement dans un post-compresseur (7), qui est entraîné avec de l'énergie externe et non ou non exclusivement par détente d'un fluide précédemment comprimé dans l'installation de séparation d'air (100, 200), dans le premier amplificateur de turbine et le second amplificateur de turbine au quatrième niveau de pression, et
 - un détendeur de fluide d'étanchéité (8), auquel la troisième proportion (e) est amenée à l'état liquide et au quatrième niveau de pression, est utilisé pour détendre la troisième proportion (e).
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la troisième proportion (e) est amenée au second amplificateur de turbine à un niveau de température allant de -40 à 50 °C.
3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel au moins un produit d'air liquide dans une proportion allant de 3 à 10 % en moles du flux d'air d'alimentation (a) est prélevé de l'installation de séparation d'air (100, 200).
4. Procédé selon la revendication 2 ou 3, dans lequel la troisième proportion (e) est refroidie dans un post-refroidisseur après la post-compression dans le second amplificateur de turbine à partir d'un niveau de température supérieur à la température ambiante, et ensuite dans l'échangeur de chaleur principal (4) à partir d'un niveau de température allant de 10 à 50 °C jusqu'à un niveau de température allant de -140 à -180 °C.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel le premier niveau de pression va de 1 à 2 bars, le deuxième niveau de pression va de 5 à 6 bars, le troisième niveau de pression va de 8 à 23 bars et/ou le quatrième niveau de pression va de 50 à 70 bars de pression absolue.
6. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la troisième proportion (e) est amenée au second amplificateur de turbine à un niveau de température allant de -140 à -20 °C.
7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel au moins un produit d'air liquide dans une proportion allant jusqu'à 3 % en moles du flux d'air d'alimentation (a) est prélevé de l'installation de séparation d'air (100, 200).
8. Procédé selon la revendication 6 ou 7, dans lequel, après la post-compression dans le second amplificateur de turbine, la troisième proportion (e) est refroidie dans l'échangeur de chaleur principal (4) à partir d'un niveau de température allant de -90 à 20 °C jusqu'à un niveau de température allant de -140 à -180 °C.
9. Procédé selon l'une des revendications 6 à 8, dans lequel le premier niveau de pression va de 1 à 2 bars, le deuxième niveau de pression va de 5 à 6 bars, le troisième niveau de pression va de 9 à 17 bars et/ou le quatrième niveau de pression va de 30 à 80 bars de pression absolue.
10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les amplificateurs de turbine sont entraînés respectivement par l'une des turbines de détente (5, 6).
11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le post-compresseur (7) est entraîné par un fluide à haute pression et/ou électriquement et/ou conjointement avec un étage de compresseur du compresseur d'air principal (2).
12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la première proportion (c) est refroidie dans l'échangeur de chaleur principal (4) à un niveau de température allant de 0 à -150 °C avant la détente.
13. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la première proportion (c) est refroidie dans l'échangeur de chaleur principal (4) à un niveau de température de -150 à -180 °C après la détente.
14. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la deuxième proportion (d) est refroidie dans l'échangeur de chaleur principal (4) à un niveau de température allant de -100 à -160 °C avant la détente.
15. Installation de séparation d'air (100) conçue pour la séparation cryogénique d'air (AIR) conformément à un procédé selon l'une des revendications 1 à 14 et

présentant un compresseur d'air principal (2), un échangeur de chaleur principal (4) et un système de colonne de distillation (10) comportant une colonne basse pression (11) fonctionnant à un premier niveau de pression et une colonne haute pression (12) 5 fonctionnant à un deuxième niveau de pression, dans laquelle l'installation de séparation d'air (100) présente des moyens conçus pour

- comprimer un flux d'air d'alimentation (a), qui comprend la totalité de l'air d'alimentation amené à l'installation de séparation d'air (100, 200), dans le compresseur d'air principal (2) à un troisième niveau de pression qui est supérieur d'au moins 6 bars au deuxième niveau de pression, 15 et, à partir du flux d'air d'alimentation comprimé (b)
 - refroidir une première proportion (c) au moins une fois dans l'échangeur de chaleur principal (4) et la détendre, à partir du troisième niveau de pression, dans une première turbine de détente (5), 20
 - refroidir une deuxième proportion (d) au moins une fois dans l'échangeur de chaleur principal (4) et la détendre, à partir du troisième niveau de pression, dans une seconde turbine de détente (6), 25
 - comprimer ensuite une troisième proportion (e) à un quatrième niveau de pression à l'aide d'un premier amplificateur de turbine, auquel la troisième proportion (e) est amenée à un niveau de température allant de 0 à 50 °C, et d'un deuxième amplificateur de turbine, la refroidir au moins une fois dans l'échangeur de chaleur principal (4) et la détendre à partir du quatrième niveau 30 de pression, et
 - injecter l'air de la première proportion (c) et/ou de la deuxième proportion (d) et/ou de la troisième proportion (e) dans le système de colonne de distillation (10) au premier et/ou au deuxième niveau de pression, 40
- caractérisée par** des moyens qui sont conçus pour
- comprimer ensuite la troisième proportion (e) successivement dans un post-compresseur (7), 45 qui est conçu pour être entraîné avec de l'énergie externe et non ou non exclusivement par détente d'un fluide précédemment comprimé dans l'installation de séparation d'air (100, 200), dans le premier amplificateur de turbine et le second amplificateur de turbine au quatrième niveau de pression,
 - détendre la troisième proportion (e) dans un détendeur de fluide d'étanchéité (8) et lui amener la troisième proportion (e) à l'état liquide et au quatrième niveau de pression. 55

**Fig. 1**

**Fig. 2**

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]
- EP 2520886 A1 [0009]
- DE 102007014643 A1 [0010]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

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