



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
14.06.2017 Patentblatt 2017/24

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

(21) Anmeldenummer: **16020460.8**

(22) Anmeldetag: **23.11.2016**

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

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

(72) Erfinder: **Lautenschlager, Tobias**
82194 Gröbenzell (DE)

(30) Priorität: **07.12.2015 EP 15003483**

(54) **VERFAHREN ZUR GEWINNUNG EINES FLÜSSIGEN UND EINES GASFÖRMIGEN, SAUERSTOFFREICHEN LUFTPRODUKTS IN EINER LUFTZERLEGUNGSANLAGE UND LUFTZERLEGUNGSANLAGE**

(57) Es wird ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft vorgeschlagen, bei dem eine Luftzerlegungsanlage (100) mit einem Hauptwärmetauscher (3) und einem Destillationssäulensystem (6, 7) verwendet wird, das eine auf einem ersten Druckniveau betriebene Hochdrucksäule (61), eine auf einem zweiten, geringeren Druckniveau betriebene Niederdrucksäule (62) und eine Mischsäule (7) umfasst. In die Mischsäule (7), insbesondere unmittelbar oberhalb des Sumpfes, wird ein erster Druckluftstrom (h) gasförmig eingespeist und in der Mischsäule (7) einem sauerstoffreichen Strom (n) entgegengeschickt. Der erste Druckluftstrom (h) wird unter Verwendung von Luft gebildet, die auf ein Ausgangsdruckniveau oberhalb des ersten Druckniveaus verdichtet und danach auf ein erstes Temperaturniveau abgekühlt und in einer ersten Turbine (4) entspannt wird. In die Hochdrucksäule (62) wird ein zweiter Druckluftstrom (g) eingespeist, der ebenfalls unter Verwendung der auf das Ausgangsdruckniveau verdichteten und danach auf das erste Temperaturniveau abgekühlten und in der ersten Turbine (4) entspannten Luft gebildet wird. In die Niederdrucksäule (62) wird hingegen ein dritter Druckluftstrom (f) eingespeist, der unter Verwendung von Luft gebildet wird, die zwar ebenfalls auf das Ausgangsdruckniveau verdichtet wird, danach aber auf ein zweites Temperaturniveau abgekühlt, in einer zweiten Turbine (5) entspannt und in dem Hauptwärmetauscher (3) weiter auf ein drittes Temperaturniveau abgekühlt wird. Die Luft in der ersten Turbine (4) wird auf das erste und die Luft in der zweiten Turbine (5) auf das zweite Druckniveau entspannt. Die in der ersten und zweiten Turbine (4, 5) entspannte Luft wird der ersten Turbine (4) auf dem ersten

und der zweiten Turbine (5) auf dem zweiten Temperaturniveau zugeführt, wobei das erste Temperaturniveau mindestens 20 K unterhalb des zweiten liegt. Die Mischsäule (7) wird auf dem ersten Druckniveau oder einem dritten Druckniveau betrieben, das sich um höchstens 1 bar von dem ersten Druckniveau unterscheidet. Ein flüssiges sauerstoffreiches Luftprodukt wird aus der Luftzerlegungsanlage (100) in flüssigem Zustand ausgeleitet. Eine entsprechende Luftzerlegungsanlage (100) ist ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung.

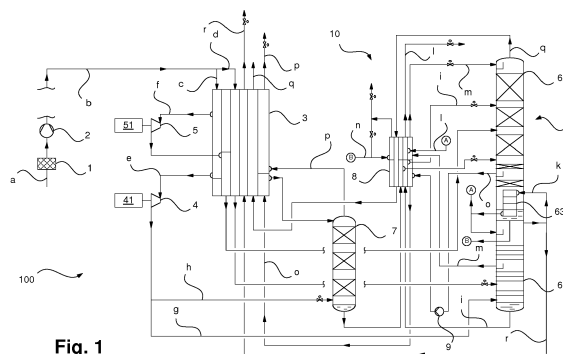


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Gewinnung eines flüssigen und eines gasförmigen, sauerstoffreichen Luftprodukts in einer Luftzerlegungsanlage und eine zur Durchführung eines derartigen Verfahrens eingerichtete Luftzerlegungsanlage.

Stand der Technik

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

[0003] Für eine Reihe industrieller Anwendungen wird zumindest nicht ausschließlich reiner Sauerstoff benötigt. Dies eröffnet die Möglichkeit, Luftzerlegungsanlagen hinsichtlich ihrer Erstellungs- und Betriebskosten, insbesondere ihres Energieverbrauchs, zu optimieren. Für Details sei auf Fachliteratur, z.B. F.G. Kerry, *Industrial Gas Handbook: Gas Separation and Purification*, CRC Press, 2006, Kapitel 3.8, "Development of Low Oxygen-Purity Processes", verwiesen.

[0004] Zur Gewinnung von gasförmigem Drucksauerstoff geringerer Reinheit können unter anderem Luftzerlegungsanlagen mit sogenannten Mischsäulen eingesetzt werden, wie sie seit längerem bekannt und in einer Reihe von Druckschriften, z.B. DE 2 204 376 A1 (entspricht US 4 022 030 A) US 5 454 227 A, US 5 490 391 A, DE 198 03 437 A1, DE 199 51 521 A1, EP 1 139 046 B1 (US 2001/052244 A1), EP 1 284 404 A1 (US 6 662 595 B2), DE 102 09 421 A1, DE 102 17 093 A1, EP 1 376 037 B1 (US 6 776 004 B2), EP 1 387 136 A1 und EP 1 666 824 A1 beschrieben sind. Auch in der FR 2 895 068 A1 ist eine Luftzerlegungsanlage mit einer Mischsäule offenbart.

[0005] In eine Mischsäule werden kopfnah eine sauerstoffreiche Flüssigkeit und sumpfnah gasförmige Druckluft, sogenannte Mischsäulenluft, eingespeist und einander entgegengeschickt. Durch den intensiven Kontakt geht ein gewisser Anteil des leichter flüchtigen Stickstoffs aus der Mischsäulenluft in die sauerstoffreiche Flüssigkeit über. Die sauerstoffreiche Flüssigkeit wird dabei in der Mischsäule verdampft und kann am Kopf der Mischsäule als sogenannter "unreiner" Sauerstoff abgezogen werden. Der unreine Sauerstoff kann der Luftzerlegungsanlage als Gasprodukt entnommen werden. Die Mischsäulenluft ihrerseits wird beim Durchlaufen der Mischsäule verflüssigt, in gewissem Umfang mit Sauerstoff angereichert, und kann aus dem Sumpf der Mischsäule abgezogen werden. Dieser verflüssigte Strom kann anschließend an energetisch und/oder trenntechnisch geeigneter Stelle in das verwendete Destillationssäulensystem eingespeist werden. Durch die Verwendung einer Mischsäule kann die für die Stofftrennung erforderliche Energie auf Kosten der Reinheit des

gasförmigen Sauerstoffprodukts beträchtlich reduziert werden.

[0006] Nachteilig an bekannten Luftzerlegungsanlagen, auch solchen die mit Mischsäulen arbeiten, ist die eingeschränkte Flexibilität im Betrieb. Der Kältebedarf wird in derartigen Anlagen i.d.R. durch die Entspannung von Luft in einer sogenannten Einblaseturbine gedeckt. Eine derartige Einblaseturbine entspannt Luft von einem Druckniveau von beispielsweise 5,0 bis 6,0 bar auf ein Druckniveau von beispielsweise 1,2 bis 1,6 bar (es handelt sich jeweils um Absolutdrücke; im Rahmen der vorliegenden Erfindung eingesetzte spezifische Druckniveaus sind unten angegeben). In entsprechenden Anlagen ist ein Destillationssäulensystem mit (mindestens) einer Hochdrucksäule und einer Niederdrucksäule vorgesehen. Die Hochdrucksäule wird im erläuterten Beispielfall auf dem erwähnten Druckniveau von 5,0 bis 6,0 bar, die Niederdrucksäule auf dem erwähnten Druckniveau von 1,2 bis 1,6 bar betrieben. Die in der Einblaseturbine entspannte Luft wird in die Niederdrucksäule eingespeist. Die Entspannung ist durch den angegebenen Druckunterschied zwischen Hochdrucksäule und Niederdrucksäule möglich. Die auf diese Weise in die Niederdrucksäule entspannte Luft stört jedoch die Rektifikation, weshalb die Menge der in der Einblaseturbine entspannbaren Luft und damit die Kälteleistung der Anlage insgesamt stark begrenzt sind. Daher können Anlagen mit derartigen Verschaltungen keine nennenswerten Mengen an Flüssigprodukten entnommen werden.

[0007] Die maximale Entnahmemenge von Flüssigstickstoff und Flüssigsauerstoff in herkömmlichen Anlagen mit Mischsäulen ist daher, wie bei anderen typischen Luftzerlegungsanlagen zur Bereitstellung von gasförmigen Luftprodukten (sogenannten Gasanlagen) auch, auf höchstens ca. 0,5% der eingesetzten Luftmenge begrenzt.

[0008] Ein Verfahren, wie es in der WO 2014/037091 A2 beschrieben ist, erlaubt zwar eine Erhöhung der Flüssigkeitsproduktion, bietet jedoch aus den auch unten noch erläuterten Gründen nicht immer ausreichend Flexibilität bei schwankendem Bedarf an flüssigen und gasförmigen sauerstoffreichen Luftprodukten

[0009] Es besteht daher der Bedarf nach verbesserten Möglichkeiten zur effizienten und flexiblen Erzeugung flüssiger und gasförmiger sauerstoffreicher Luftprodukte in Luftzerlegungsanlagen mit entsprechenden Mischsäulen.

Offenbarung der Erfindung

[0010] Die vorliegende Erfindung schlägt vor diesem Hintergrund ein Verfahren zur Gewinnung eines flüssigen und eines gasförmigen, sauerstoffreichen Luftprodukts in einer Luftzerlegungsanlage und eine zur Durchführung eines derartigen Verfahrens eingerichtete Luftzerlegungsanlage mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vor. Bevorzugte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche sowie der

nachfolgenden Beschreibung.

[0011] In Luftzerlegungsanlagen kommen zur Verdichtung der Luft Turboverdichter zum Einsatz. Dies gilt beispielsweise für den "Hauptluftverdichter", der sich dadurch auszeichnet, dass durch diesen die gesamte in das Destillationssäulensystem eingespeiste Luftmenge, also die gesamte Einsatzluft, verdichtet wird. Entsprechend kann auch ein "Nachverdichter" vorgesehen sein, in dem ein Teil der im Hauptluftverdichter verdichteten Luftmenge auf einen nochmals höheren Druck gebracht wird. Auch dieser kann als Turboverdichter ausgebildet sein. Zur Verdichtung von Teilluftmengen sind typischerweise weitere Turboverdichter vorgesehen, die auch als Booster bezeichnet werden, im Vergleich zu dem Hauptluftverdichter oder dem Nachverdichter jedoch nur eine Verdichtung in relativ geringem Umfang vornehmen.

[0012] An mehreren Stellen in Luftzerlegungsanlagen kann ferner Luft entspannt werden, wozu unter anderem Entspannungsmaschinen in Form von Turboexpandern, hier auch kurz als "Turbinen" bezeichnet, zum Einsatz kommen können. Turboexpander können auch mit Turboverdichtern gekoppelt sein und diese antreiben. Werden ein oder mehrere Turboverdichter ohne extern zugeführte Energie, d.h. nur über einen oder mehrere Turboexpander, angetrieben, wird für eine derartige Anordnung auch der Begriff "Turbinenbooster" verwendet. In einem Turbinenbooster sind der Turboexpander und der Turboverdichter mechanisch gekoppelt.

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

[0014] Im Rahmen dieser Anmeldung ist von der Gewinnung von Luftprodukten, insbesondere von sauerstoffreichen und stickstoffreichen Luftprodukten bzw. Sauerstoff- und Stickstoffprodukten, die Rede. Ein "Produkt" verlässt die erläuterte Anlage und wird beispielsweise in einem Tank eingelagert oder verbraucht. Es nimmt also nicht mehr nur ausschließlich an den anlageninternen Kreisläufen teil, kann jedoch vor dem Verlassen der Anlage entsprechend verwendet werden, bei-

spielsweise als Kälteträger in einem Wärmetauscher. Der Begriff "Produkt" umfasst also nicht solche Fraktionen oder Ströme, die in der Anlage selbst verbleiben und ausschließlich dort, beispielsweise als Rücklauf, Kühlmittel oder Spülgas, verwendet werden.

[0015] Der Begriff "Produkt" beinhaltet ferner eine Mengenangabe. Ein "Produkt" entspricht mindestens 1% , insbesondere mindestens 2% , beispielsweise mindestens 5% oder mindestens 10% der in einer entsprechenden Anlage eingesetzten Luftmenge. Geringere Mengen auch herkömmlicherweise in ausgesprochenen Gasanlagen anfallender und einer solchen Anlage gegebenenfalls entnehmbarer Flüssigfraktionen stellen damit keine "Produkte" im Sinne dieser Anmeldung dar. Beispielsweise werden in bekannten Destillationssäulensystemen der Niederdrucksäule stets geringe Mengen einer sich im Sumpf abscheidenden Flüssigfraktion entnommen, um eine Anreicherung unerwünschter Komponenten wie Methan zu vermeiden. Hierbei handelt es sich aber schon aufgrund der Menge nicht um "Produkte" im Sinne dieser Anmeldung. Durch die Entnahme von Flüssigprodukten wird einer Luftzerlegungsanlage eine beträchtliche Kältemenge "entzogen", die sonst durch Verdampfung dieser Flüssigprodukte zum Teil zurückgewonnen werden könnte. Eine derartige Entnahme wirkt sich jedoch erst ab einer bestimmten Entnahmemenge, also erst dann, wenn tatsächlich ein "Produkt" im Sinne der oben getroffenen Definition entnommen wird, aus.

[0016] Ein flüssiges oder gasförmiges "sauerstoffreiches Luftprodukt" ist im Sprachgebrauch dieser Anmeldung ein Fluid in entsprechendem Aggregatzustand, das einen Sauerstoffgehalt von mindestens 75% , insbesondere mindestens 80% , auf molarer, Gewichts- oder Volumenbasis aufweist. Auch der "Unreinsauerstoff", der der Mischsäule entnommen wird, ist damit ein sauerstoffreiches Luftprodukt.

Vorteile der Erfindung

[0017] Die vorliegende Erfindung schlägt ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft vor, bei dem eine Luftzerlegungsanlage mit einem Hauptwärmetauscher und einem Destillationssäulensystem verwendet wird, das eine auf einem ersten Druckniveau betriebene Hochdrucksäule, eine auf einem zweiten Druckniveau betriebene Niederdrucksäule und eine Mischsäule umfasst. Das zweite Druckniveau ist geringer als das erste.

[0018] Wie beispielsweise bereits aus der eingangs erwähnten WO 2014/037091 A2 bekannt, kann in einem derartigen Verfahren der Niederdrucksäule ein sauerstoffreicher Strom mit einem ersten Sauerstoffgehalt flüssig entnommen werden, der nicht direkt flüssig oder verdampft aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet wird, sondern, insbesondere nach Erwärmung, mit dem ersten Sauerstoffgehalt flüssig in die Mischsäule eingespeist wird, insbesondere in den oberen Bereich, zum Beispiel am Kopf. In die Mischsäule wird ferner ein erster

Druckluftstrom gasförmig eingespeist und in der Mischsäule dem sauerstoffreichen Strom mit dem ersten Sauerstoffgehalt entgegengeschickt. Die Einspeisung des ersten Druckluftstroms in die Mischsäule erfolgt vorzugsweise direkt oberhalb des Sumpfs.

[0019] Durch einen derartigen Betrieb der Mischsäule kann dieser kopfseitig ein sauerstoffreicher Strom mit einem zweiten Sauerstoffgehalt unterhalb des ersten Sauerstoffgehalts entnommen und als gasförmiges sauerstoffreiches Luftprodukt aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet werden. Bei dem sauerstoffreichen Strom mit dem zweiten Sauerstoffgehalt handelt es sich um den erwähnten "unreinen" Sauerstoff, dessen (zweiter) Sauerstoffgehalt jedoch für bestimmte Anwendungen ausreichend ist und die erwähnte energetische Optimierung ermöglicht.

[0020] In einer entsprechenden Anlage kann der Niederdrucksäule, insbesondere deren Sumpf, ein Reinsauerstoffstrom flüssig entnommen und mit seinem Sauerstoffgehalt als flüssiges sauerstoffreiches Luftprodukt flüssig aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet werden. Entsprechendes ist in der WO 2014/037091 A2 gezeigt. Der Reinsauerstoffstrom weist einen Sauerstoffgehalt oberhalb des ersten Sauerstoffgehalts auf. Es wird also in diesem Fall ein weiteres flüssiges sauerstoffreiches Luftprodukt bereitgestellt, das einen hohen Sauerstoffgehalt aufweist. Die damit erfolgende Entnahme von zwei sauerstoffreichen Strömen aus der Niederdrucksäule (nämlich des sauerstoffreichen Stroms mit dem ersten Sauerstoffgehalt und zusätzlich des Reinsauerstoffstroms) ist eine verfahrenstechnische Option, falls zusätzlich zu dem gasförmigen sauerstoffreichen Luftprodukt ein flüssiges sauerstoffreiches Luftprodukt in Form reinen Flüssigsauerstoffs gefordert ist. Ist kein derartiges flüssiges sauerstoffreiches Luftprodukt in Form reinen Flüssigsauerstoffs gefordert, oder liegt die geforderte Reinheit für ein flüssiges sauerstoffreiches Luftprodukt ca. ein bis zwei Prozentpunkte über der gewünschten Reinheit des gasförmigen sauerstoffreichen Luftprodukts, so kann auch nur ein sauerstoffreicher Strom flüssig aus der Niederdrucksäule entnommen werden. Hier von kann dann beispielsweise ein Teil, wie zuvor erläutert, in die Mischsäule eingespeist und ein Teil in flüssiger Form aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet, d.h. als flüssiges sauerstoffreiches Luftprodukt verwendet werden.

[0021] In jedem Fall wird auch in der vorliegenden Erfindung aus der Luftzerlegungsanlage ein flüssiges sauerstoffreiches Luftprodukt zumindest zeitweise flüssig ausgeleitet, beispielsweise ein entsprechendes flüssiges sauerstoffreiches Luftprodukt aus der Niederdrucksäule mit dem ersten Sauerstoffgehalt oder entsprechender Reinsauerstoff. Es können auch andere sauerstoffreiche Luftprodukte flüssig aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet werden. Als Produkt umfasst deren Menge zumindest die oben hinsichtlich "Produkten" angegebenen Werte. Die Menge, in der ein entsprechendes flüssiges sauerstoffreiches Luftprodukt flüssig aus der Luft-

zerlegungsanlage ausgeleitet werden kann, ist aufgrund der erfindungsgemäß vorgeschlagenen Maßnahmen sehr flexibel.

[0022] Ist vorstehend von sauerstoffreichen Strömen, nämlich insbesondere dem sauerstoffreichen Strom mit dem ersten Sauerstoffgehalt und ggf. dem Reinsauerstoffstrom mit dem höheren Sauerstoffgehalt und weiteren sauerstoffreichen Strömen, die Rede, die der Niederdrucksäule flüssig entnommen werden, handelt es sich hierbei um Ströme, die zur Herstellung entsprechender sauerstoffreicher Luftprodukte verwendet werden. Sie werden daher, wie oben zum Begriff "Produkte" erwähnt, in einer Menge aus der Niederdrucksäule ausgeleitet, die sich deutlich von Strömen unterscheidet, die nicht als Produkte bereitgestellt werden, beispielsweise Spülströmen, die lediglich zur Entfernung von Verunreinigungen, beispielsweise aus einem Sumpf der Niederdrucksäule, verwendet werden. Der sauerstoffreiche Strom mit dem ersten Sauerstoffgehalt und ggf. der Reinsauerstoffstrom und andere sauerstoffreiche Ströme werden also jeweils in einer Menge aus der Niederdrucksäule entnommen, die im oben bezüglich eines "Produkts" erwähnten Bereich liegt.

[0023] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird der erste Druckluftstrom, der in Mischsäule eingespeist wird, unter Verwendung von Luft gebildet, die auf ein Ausgangsdruckniveau oberhalb des ersten Druckniveaus verdichtet und danach, insbesondere in dem Hauptwärmetauscher, auf ein erstes Temperaturniveau abgekühlt und in einer ersten Turbine entspannt wird. Wie auch nachfolgend erläutert, kommt die vorliegende Erfindung insbesondere bei sogenannten HAP-Verfahren ("High Air Pressure") zum Einsatz, also Verfahren, bei denen die gesamte Luftmenge, die einem Destillationssäulensystem zugeführt wird, auf einen Druck verdichtet wird, der deutlich oberhalb des höchsten in dem Destillationssäulensystem verwendeten Betriebsdrucks liegt. Unter "deutlich oberhalb" ist dabei im vorliegenden Fall ein Druckunterschied von mindestens 1,0 bar, insbesondere mehr, zu verstehen. Durch die Verwendung einer entsprechenden ersten Turbine kann zusätzliche Kälte generiert werden, die Kälteverluste, insbesondere durch die Entnahme flüssiger sauerstoffreicher Luftprodukte, aus der Luftzerlegungsanlage, ausgleicht. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird also ein Teil des Kältebedarfs durch die Entspannung der für die Bereitstellung des ersten Druckluftstroms verwendeten Luft, die in der ersten Turbine entspannt wird, gedeckt.

[0024] Die vorliegende Erfindung schlägt ferner vor, in die Hochdrucksäule einen zweiten Druckluftstrom einzuspeisen, der ebenfalls unter Verwendung der auf das Ausgangsdruckniveau verdichteten und danach, insbesondere in dem Hauptwärmetauscher, auf das erste Temperaturniveau abgekühlten und in der ersten Turbine entspannten Luft gebildet wird. Ein Teil der in der ersten Turbine entspannten Luft wird also nach ihrer Entspannung in der ersten Turbine in die Mischsäule, ein weiterer Teil in die Hochdrucksäule eingespeist.

[0025] Ferner schlägt die vorliegende Erfindung vor, in die Niederdrucksäule einen dritten Druckluftstrom einzuspeisen, der unter Verwendung von Luft gebildet wird, die auf das Ausgangsdruckniveau verdichtet und danach, insbesondere in dem Hauptwärmetauscher, auf ein zweites Temperaturniveau abgekühlt, in einer zweiten Turbine entspannt, und danach in dem Hauptwärmetauscher weiter auf ein drittes Temperaturniveau abgekühlt wird.

[0026] Die Luft wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung in der ersten Turbine auf das erste, d.h. das Druckniveau der Hochdrucksäule, und in der zweiten Turbine auf das zweite, d.h. das Druckniveau der Niederdrucksäule, entspannt. Die Mischsäule wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung auf dem ersten Druckniveau, d.h. dem Druckniveau der Hochdrucksäule, oder auf einem dritten Druckniveau, das sich um höchstens 1 bar von dem ersten Druckniveau unterscheidet, betrieben.

[0027] Die in der ersten Turbine und die in der zweiten Turbine entspannte Luft wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung der ersten Turbine auf dem ersten Temperaturniveau und der zweiten Turbine auf dem zweiten Temperaturniveau zugeführt, wobei das erste Temperaturniveau mindestens 20 K, insbesondere mindestens 30 K oder mindestens 40 K, unterhalb des zweiten Temperaturniveaus liegt. Insbesondere kann das erste Temperaturniveau 25 bis 35 K oder 28 bis 32 K, weiter insbesondere ca. 30 K, unterhalb des zweiten Temperaturniveaus liegen. Zu den jeweiligen Temperaturniveaus sei auch auf die untenstehenden Erläuterungen verwiesen. Bei der ersten Turbine handelt es sich dabei um eine "kalte" Turbine, bei der zweiten Turbine um eine "warme" Turbine.

[0028] Wollte man in herkömmlichen Verfahren bzw. Anlagen, in denen ein HAP-Verfahren der zuvor erläuterten Art realisiert ist und eine Mischsäule eingesetzt wird, die Flüssigproduktion, d.h. die Menge, in der flüssige Luftprodukte flüssig aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet werden, reduzieren, müsste der Druck des Hauptluftverdichters bei konstanter, durch den Hauptluftverdichter fließender Luftmenge abgesenkt werden. Ein entsprechend reduzierter Druck bei konstanter Luftmenge vergrößert jedoch das Realvolumen der verdichteten Luft. Daher müssten in herkömmlichen Anlagen die im warmen Teil angeordneten Apparate, insbesondere die Luftreinigungs- und Vorkühleinheiten, deutlich größer dimensioniert werden. Dies ist aus wirtschaftlichen Gründen nicht wünschenswert. Ferner ist eine Druckabsenkung bei konstanter Luftmenge hinsichtlich des Wirkungsgrads des verwendeten Hauptluftverdichters typischerweise nicht optimal.

[0029] Für ein Verfahren, in dem der Mischsäulendruck, der sich nach dem geforderten Druck des gasförmigen Sauerstoffprodukts richtet, deutlich unterhalb oder oberhalb des Drucks der Hochdrucksäule liegt, bietet sich ein Prozess an, wie er in der zuvor erläuterten WO 2014/037091 A2 beschrieben ist.

[0030] Liegt hingegen der geforderte Druck des Druckprodukts auf oder nahe dem Druckniveau der Hochdrucksäule von ca. 5 bar, d.h. auf dem ersten Druckniveau oder auf einem dritten Druckniveau, das sich um höchstens 1 bar von dem ersten Druckniveau unterscheidet, wie im Rahmen der vorliegenden Erfindung, so bietet ein HAP-Verfahren unter Verwendung einer Mitteldrucksowie einer Einblaseturbine Vorteile hinsichtlich der Anlagenflexibilität zur Bereitstellung des flüssigen Sauerstoffprodukts und der Betriebskosten, wie erfindungsgemäß erkannt wurde.

[0031] Bei der "Mitteldruckturbine" handelt es sich um die erwähnte erste Turbine, die "Einblaseturbine" wird im Rahmen der vorliegenden Anmeldung durch die zweite Turbine gebildet. Weil das erfindungsgemäße Verfahren als HAP-Verfahren ausgebildet ist, ist lediglich eine ein einziger Hauptluftverdichter erforderlich, was die Investitionskosten deutlich reduziert. Die Eintrittsdrücke beider Turbinen liegen vorzugsweise auf dem gleichen Niveau, insbesondere auf demjenigen des Austrittsdrucks des Hauptluftverdichters.

[0032] Soll eine vergleichsweise große Menge des flüssigen Sauerstoffprodukts bereitgestellt werden ("höhere Flüssigproduktion"), können im Rahmen der vorliegenden Erfindung das Ausgangsdruckniveau (also das durch den Hauptluftverdichter bereitgestellte Druckniveau) und gleichzeitig dazu die Menge der Luft, die in Form des dritten Druckluftstroms in die Niederdrucksäule eingespeist wird (also der "Einblaseluft", die in der zweiten Turbine entspannt wird, also der "Einblaseturbine"), angehoben werden. Die erhöhte Menge der in der zweiten Turbine entspannten Luft erhöht damit den sogenannten "Luftfaktor", also die insgesamt zur Rektifikation benötigte Luftmenge.

[0033] Die erwähnte gleichzeitige Druck- und Mengenerhöhung führen der Anlage mehr Exergie zu, der Hauptluftverdichter liefert mehr Leistung und die Flüssigproduktion kann angehoben werden. Gleichzeitig bleibt das Realvolumen der Luft im warmen Teil im Rahmen der vorliegenden Erfindung annähernd konstant, da sowohl Druck als auch Menge gestiegen sind. Im Kennfeld des Hauptluftverdichters hat man auf diese Weise sowohl die Menge als auch den Druck der verdichteten Luft erhöht, was sich i.d.R. vorteilhaft auf den Wirkungsgrad des Hauptluftverdichters auswirkt.

[0034] Soll hingegen eine vergleichsweise geringe Menge des flüssigen Sauerstoffprodukts bereitgestellt werden ("niedrigere Flüssigproduktion"), werden das Ausgangsdruckniveau und gleichzeitig dazu die Menge der Luft, die in Form des dritten Druckluftstroms in die Niederdrucksäule eingespeist wird, hingegen reduziert. Die reduzierte Menge der in der zweiten Turbine entspannten Luft reduziert den Luftfaktor.

[0035] Die gleichzeitige Druck- und Mengenabsenkung führen der Anlage also weniger Exergie zu, der Hauptluftverdichter liefert weniger Leistung und die Flüssigproduktion sinkt. Gleichzeitig bleibt wiederum das Realvolumen der Luft im warmen Teil annähernd konstant.

Im Kennfeld des Hauptluftverdichters hat man auf diese Weise sowohl die Menge als auch den Druck der verdichteten Luft reduziert, was sich i.d.R. vorteilhafter auf den Wirkungsgrad des Hauptluftverdichters auswirkt als eine reine Druckabsenkung.

[0036] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird vorteilhafterweise ein vierter Druckluftstrom verwendet, der in die Hochdrucksäule eingespeist und unter Verwendung von Luft gebildet wird, die auf das Ausgangsdruckniveau verdichtet und danach auf ein drittes Temperaturniveau abgekühlt und mittels einer Drossel entspannt wird. Ein entsprechender vierter Druckluftstrom entspricht einem Drosselstrom eines herkömmlichen Luftzerlegungsverfahrens.

[0037] Vorteilhafterweise umfasst das erfindungsgemäße Verfahren einen ersten Verfahrensmodus und einen zweiten Verfahrensmodus, wobei in dem ersten Verfahrensmodus aus der Luftzerlegungsanlage das flüssige sauerstoffreiche Luftprodukt in einer größeren Menge flüssig ausgeleitet wird als in dem zweiten Verfahrensmodus, und wobei in dem ersten Verfahrensmodus eine größere Luftmenge in der zweiten Turbine entspannt wird als in dem zweiten Verfahrensmodus und hierdurch zugleich der dritte Druckluftstrom in dem ersten Verfahrensmodus dieselbe größere Luftmenge umfasst als in dem zweiten Verfahrensmodus. Mit anderen Worten wird zur Entnahme einer größeren Menge eines flüssigen sauerstoffreichen Luftprodukts im Rahmen der vorliegenden Erfindung die Einblaseluftmenge, die durch die zweite Turbine entspannt und in die Niederdrucksäule eingespeist wird, erhöht. Hierdurch kann ein zusätzlicher Kältebedarf, der aufgrund der Entnahme des flüssigen Sauerstoffprodukts besteht, gedeckt werden.

[0038] Das flüssige sauerstoffreiche Luftprodukt, das jeweils aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet wird, wird der Niederdrucksäule entnommen. Hierbei kann entweder der Reinsauerstoff, wie oben erläutert, oder ein flüssiges Sauerstoffprodukt mit einem niedrigeren Sauerstoffgehalt verwendet werden. Wird ein derartiges flüssiges sauerstoffreiches Luftprodukt "flüssig ausgeleitet", bedeutet dies, dass keine Verdampfung innerhalb der Luftzerlegungsanlage erfolgt. Ist oben angegeben, dass in dem ersten Verfahrensmodus aus der Luftzerlegungsanlage das flüssige sauerstoffreiche Luftprodukt in einer größeren Menge flüssig ausgeleitet wird als in dem zweiten Verfahrensmodus, kann dies auch umfassen, dass in dem zweiten Verfahrensmodus kein flüssiges sauerstoffreiches Luftprodukt ausgeleitet wird. Die Menge des flüssigen sauerstoffreichen Luftprodukts, die in dem ersten Verfahrensmodus flüssig aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet wird, kann beispielsweise das 1,5-fache, 2-fache, 3-fache, 4-fache oder 5-fache der entsprechenden Menge in dem zweiten Verfahrensmodus umfassen.

[0039] Die Erhöhung der in der zweiten Turbine entspannten und zugleich von dem dritten Druckluftstrom umfassten Luftmenge erfolgt vorteilhafterweise unter Berücksichtigung eines sogenannten Einblaseäquivalents. Das Einblaseäquivalent umfasst zunächst die Menge der

durch die zweite Turbine entspannten Luftmenge, die zugleich der von dem dritten Druckluftstrom umfassten Luftmenge entspricht, und zusätzlich die Menge von stickstoffreichen Strömen, die ebenfalls der Hochdrucksäule entnommen werden. Bei diesen stickstoffreichen Strömen handelt es sich um flüssigen Stickstoff und um Druckstickstoff, die als stickstoffreiche Luftprodukte einer entsprechenden Luftzerlegungsanlage zur Verfügung gestellt werden. Diese stickstoffreichen Ströme werden nicht als flüssiger Rücklauf auf die Hochdrucksäule und die Niederdrucksäule verwendet. Vorteilhafterweise umfasst die Summe der in der zweiten Turbine entspannten und zugleich von dem dritten Druckluftstrom umfassten Luftmenge und der Menge solcher stickstoffreicher Ströme in dem ersten Verfahrensmodus 12 bis 18% und in dem zweiten Verfahrensmodus 0 bis 8% der in das Destillationssäulensystem insgesamt eingespeisten Gesamtluftmenge. Diese in das Destillationssäulensystem insgesamt eingespeiste Gesamtluftmenge umfasst auch die in der zweiten Turbine entspannte Luft.

[0040] Eine derartige Variabilität ist insbesondere dadurch zu bewerkstelligen, dass die erste Turbine drehzahlvariabel ausgebildet ist bzw. betrieben wird, so dass in den unterschiedlichen Betriebsmodi ein entsprechend unterschiedlicher Luftdurchsatz erzielt werden kann. Der Begriff der "drehzahlvariablen" Turbine wird im Rahmen dieser Anmeldung lediglich als Abgrenzung gegenüber Turbinen verwendet, deren Drehzahl, beispielsweise mittels entsprechend geregelter Bremsen, auf einen festen Drehzahlwert eingestellt wird. Entsprechendes gilt auch für die zweite Turbine.

[0041] Wie bereits erwähnt, kommt das erfindungsgemäße Verfahren vorteilhafterweise im Zusammenhang mit sogenannten HAP-Verfahren zum Einsatz, bei denen die gesamte, in das Destillationssäulensystem eingespeiste Luft unter Verwendung eines Hauptluftverdichters auf ein Druckniveau verdichtet wird, das oberhalb des Druckniveaus der Hochdrucksäule liegt. Es wird also vorteilhafterweise die gesamte, in das Destillationssäulensystem eingespeiste Luft unter Verwendung eines Hauptluftverdichters auf das Ausgangsdruckniveau gebracht.

[0042] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist, wie bereits oben mit anderen Worten erläutert, in dem ersten Verfahrensmodus der Luftfaktor, d.h. die zur Gewinnung einer fixen Produktmenge eingesetzte Luftmenge, deutlich größer als in dem zweiten Verfahrensmodus, weil die in der zweiten Turbine entspannte und zugleich von dem dritten Druckluftstrom umfasste und in die Niederdrucksäule eingespeiste Luftmenge größer als in dem zweiten Verfahrensmodus ist. In dem ersten Verfahrensmodus wird, wie erwähnt, eine größere Flüssigproduktmenge entnommen als in dem zweiten Verfahrensmodus. Es muss auch daher eine größere Luftmenge durch den Hauptluftverdichter geführt werden als in dem zweiten Verfahrensmodus. Aufgrund des größeren Luftfaktors bleibt hierbei der Enddruck des Hauptluftverdichters,

also das hier als "Ausgangsdruckniveau" bezeichnete Druckniveau, aber noch immer geringer als bei geringem Luftfaktor.

[0043] In dem zweiten Verfahrensmodus ist der Luftfaktor hingegen deutlich geringer als in dem ersten Verfahrensmodus, weil die in der zweiten Turbine entspannte und zugleich von dem dritten Druckluftstrom umfasste und in die Niederdrucksäule eingespeiste Luftmenge geringer als in dem ersten Verfahrensmodus ist. In dem zweiten Verfahrensmodus wird, wie erwähnt, eine geringere Flüssigproduktmenge entnommen als in dem ersten Verfahrensmodus. Dies führt zu einer Verringerung der durch den Hauptluftverdichter geführten Luftmenge bei gleichzeitig geringerem Enddruck (also dem hier als "Ausgangsdruckniveau" bezeichneten Druckniveau) gegenüber dem ersten Verfahrensmodus. Wie erwähnt, muss hingegen bei herkömmlichen Verfahren die durch den Hauptluftverdichter geführte Luftmenge bei verringertem Druck gleichgehalten werden, was zu einem erhöhten Realvolumen dieser Luftmenge führt. Dies ist im Rahmen der Erfindung nicht mehr der Fall, der Lastfall in dem zweiten Betriebsmodus also nicht mehr dimensionierend für den warmen Teil der Luftzerlegungsanlage. Gleichzeitig ist der Druckunterschied bezüglich des Enddrucks des Hauptluftverdichters (also dem "Ausgangsdruckniveau") in dem ersten und zweiten Verfahrensmodus geringer als dies in herkömmlichen Verfahren der Fall wäre, weil, wie erwähnt, aufgrund des größeren Luftfaktors der Enddruck des Hauptluftverdichters in dem ersten Verfahrensmodus geringer bleibt als bei einem geringeren Luftfaktor. Da sowohl die im Hauptluftverdichter verdichtete Luftmenge als auch der dort verwendete Druck sinken, liegt dieser Lastfall in der Regel besser im Kennfeld als bei konstanter verdichteter Luftmenge und stärker gesenktem Druck.

[0044] Vorteilhafterweise wird die in der ersten Turbine und der zweiten Turbine entspannte Luft der ersten Turbine und der zweiten Turbine auf dem demselben Druckniveau, insbesondere dem Ausgangsdruckniveau, zugeführt. Vorteilhafterweise liegt im Rahmen der vorliegenden Erfindung dabei das Ausgangsdruckniveau in dem ersten Verfahrensmodus um 1 bis 10 bar oberhalb des Ausgangsdruckniveaus in dem zweiten Verfahrensmodus. Insgesamt können im Rahmen der vorliegenden Anmeldung des Ausgangsdruckniveau bei 6 bis 15 bar, das erste Druckniveau bei 4,3 bis 6,9 bar, insbesondere bei ca. 5,4 bar, und das zweite Druckniveau bei 1,3 bis 1,7 bar, insbesondere bei ca. 1,4 bar, liegen. Das dritte Druckniveau, falls die Mischsäule nicht auf dem ersten Druckniveau betrieben wird, unterscheidet sich, wie erwähnt, um höchstens 1 bar von dem ersten. Das erste Temperaturniveau beträgt vorzugsweise 110 bis 140 °C, das zweite Temperaturniveau 130 bis 240 °C und das dritte Temperaturniveau 97 bis 102 °C.

[0045] Die im Rahmen der vorliegenden Erfindung verwendeten Turbinen können auf unterschiedliche Weise gebremst werden. Insbesondere können ein Generator, ein Booster und/oder eine Ölbremse zum Einsatz kom-

men.

[0046] Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich insbesondere für Fälle, in denen der erste Sauerstoffgehalt unterhalb von 99 Molprozent, beispielsweise bei 98 bis 99 Molprozent, und der zweite Sauerstoffgehalt bei 80 bis 98 Molprozent liegt. Der Sauerstoffgehalt des Reinsauerstoffstroms, falls gebildet, liegt vorteilhafterweise bei 99 bis 100 Molprozent. Ein Verfahren unter Verwendung einer Mischsäule erweist in diesen Fällen als besonders energieeffizient.

[0047] Die vorliegende Erfindung erstreckt sich ferner auf eine Luftzerlegungsanlage mit einem Hauptwärmetauscher und einem Destillationssäulensystem, das eine für einen Betrieb auf einem ersten Druckniveau eingerichtete Hochdrucksäule, eine für einen Betrieb auf einem zweiten, geringeren Druckniveau eingerichtete Niederdrucksäule und eine Mischsäule umfasst.

[0048] In einer entsprechenden Anlage sind Mittel vorgesehen, die dafür eingerichtet sind, der Niederdrucksäule einen sauerstoffreichen Strom mit einem ersten Sauerstoffgehalt flüssig zu entnehmen und mit dem ersten Sauerstoffgehalt flüssig in die Mischsäule einzuspeisen, insbesondere in den oberen Bereich, ferner einen ersten Druckluftstrom gasförmig in die Mischsäule einzuspeisen, insbesondere in der Nähe des Sumpfes, und in der Mischsäule dem sauerstoffreichen Strom mit dem ersten Sauerstoffgehalt entgegenzuschicken, der Mischsäule kopfseitig einen sauerstoffreichen Strom mit einem zweiten Sauerstoffgehalt unterhalb des ersten Sauerstoffgehalts zu entnehmen und aus der Luftzerlegungsanlage auszuleiten, und den ersten Druckluftstrom unter Verwendung von Luft zu bilden, die auf ein Ausgangsdruckniveau oberhalb des ersten Druckniveaus verdichtet und danach auf ein erstes Temperaturniveau abgekühlt und in einer ersten Turbine entspannt wird.

[0049] Wie erwähnt, kann auch ein Reinsauerstoffstrom flüssig der Niederdrucksäule entnommen und flüssig aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet werden. In einem derartigen Fall sind hierzu eingerichtete Mittel vorhanden. In jedem Fall sind Mittel bereitgestellt, die dafür eingerichtet sind, aus der Luftzerlegungsanlage zumindest zeitweise ein flüssiges, sauerstoffreiches Luftprodukt in flüssigem Zustand auszuleiten.

[0050] Erfindungsgemäß sind Mittel vorgesehen, die dazu eingerichtet sind, in die Hochdrucksäule einen zweiten Druckluftstrom einzuspeisen und diesen ebenfalls unter Verwendung der auf das Ausgangsdruckniveau verdichteten und danach auf das erste Temperaturniveau abgekühlten und in der ersten Turbine entspannten Luft zu bilden, in die Niederdrucksäule einen dritten Druckluftstrom einzuspeisen und diesen unter Verwendung von Luft zu bilden, die auf das Ausgangsdruckniveau verdichtet und danach auf ein zweites Temperaturniveau abgekühlt, in einer zweiten Turbine entspannt und in dem Hauptwärmetauscher weiter auf ein drittes Temperaturniveau abgekühlt wird, und die Luft in der ersten Turbine auf das erste und in der zweiten Turbine auf das zweite Druckniveau zu entspannen und die

Mischsäule auf dem ersten Druckniveau oder einem dritten Druckniveau zu betreiben, das sich um höchstens 1 bar von dem ersten Druckniveau unterscheidet.

[0051] Diese Mittel sind erfindungsgemäß ferner dazu eingerichtet, die in der ersten Turbine und die in der zweiten Turbine entspannte Luft der ersten Turbine auf dem ersten Temperaturniveau und der zweiten Turbine auf dem zweiten Temperaturniveau zuzuführen, wobei das erste Temperaturniveau mindestens 20 K unterhalb des zweiten Temperaturniveaus liegt.

[0052] Insbesondere ist eine derartige Luftzerlegungsanlage für einen Betrieb in einem ersten Verfahrensmodus und einem zweiten Verfahrensmodus eingerichtet, indem Mittel vorgesehen sind, die dafür eingerichtet sind, in dem ersten Verfahrensmodus aus der Luftzerlegungsanlage das sauerstoffreiche flüssiges Luftprodukt in einer größeren Menge flüssig auszuleiten als in dem zweiten Verfahrensmodus, und in dem ersten Verfahrensmodus eine größere Luftmenge in der zweiten Turbine zu entspannen als in dem zweiten Verfahrensmodus, so dass hierdurch der dritte Druckluftstrom in dem ersten Verfahrensmodus dieselbe größere Luftmenge umfasst als in dem zweiten Verfahrensmodus.

[0053] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert, die bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung veranschaulichen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0054] Figur 1 zeigt eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in Form eines schematischen Anlagendiagramms.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

[0055] In Figur 1 ist eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung dargestellt und insgesamt mit 100 bezeichnet.

[0056] Der Luftzerlegungsanlage 100 wird mittels eines Hauptluftverdichters 2 über ein Filter 1 ein Einsatzluftstrom a angesaugt und im dargestellten Beispiel auf ein Druckniveau von 6 bis 15 bar (abs.) verdichtet. Der Verdichtung können sich Trocknungs-, Kühl- und Aufreinigungsschritte bekannter Art anschließen, die der Übersichtlichkeit halber in Figur 1 nicht veranschaulicht sind.

[0057] Ein entsprechend verdichteter und aufgereinigter Luftstrom b wird in zwei Teilströme c und d aufgeteilt, die auf dem genannten Druckniveau einem Hauptwärmetauscher 3 warmseitig zugeführt, in diesem abgekühlt und auf unterschiedlichen Temperaturniveaus entnommen werden.

[0058] Aus dem Teilstrom c werden durch eine Entnahme aus dem Hauptwärmetauscher 3 auf unterschiedlichen Temperaturniveaus zwei Teilströme e und f gebildet. Der Teilstrom e wird in einer Entspannungsmaschine 4, der Teilstrom f in einer Entspannungsmaschine 5 entspannt. Da der Teilstrom e auf eine tiefere Temperatur

als der Teilstrom f abgekühlt wird, wird die Entspannungsmaschine 4 auch als "kalte" Entspannungsmaschine, die Entspannungsmaschine 5 hingegen als "warme" Entspannungsmaschine bezeichnet.

[0059] Die Entspannung der beiden Teilströme e und f erfolgt jeweils ausgehend von dem erwähnten Druckniveau von 5 bis 15 bar (abs.). Der Teilstrom e wird im dargestellten Beispiel auf ein Druckniveau von ca. 5,4 bar (abs.), der Teilstrom f hingegen auf ein Druckniveau von ca. 1,4 bar (abs.) entspannt. Mit den Entspannungsmaschinen 4 und 5 sind jeweils Generatoren 41 bzw. 51 gekoppelt.

[0060] Der Teilstrom e wird nach seiner Entspannung in der Entspannungsmaschine 4 nochmals in zwei Teilströme g und h aufgeteilt. Der Teilstrom g wird sumpfnah einer Hochdrucksäule 61 zugeführt, die als Teil einer Doppelsäule 6 ausgebildet ist. Der Teilstrom h wird sumpfnah in eine Mischsäule 7 entspannt. Die Hochdrucksäule 61 wird auf dem erwähnten Druckniveau von ca. 5,4 bar (abs.), die Mischsäule 7 auf einem etwas geringeren Druckniveau von ca. 5,0 bar (abs.) betrieben.

[0061] Der Teilstrom f wird nach seiner Entspannung in der Entspannungsmaschine 5 auf einem Zwischentemperaturniveau in den Hauptwärmetauscher 3 zurückgeführt, diesem kaltseitig entnommen, und in eine Niederdrucksäule 62 eingespeist, die ebenfalls als Teil der Doppelsäule 6 ausgebildet ist. Die Niederdrucksäule 62 wird auf dem erwähnten Druckniveau von ca. 1,4 bar (abs.) betrieben.

[0062] Der Teilstrom d wird dem Hauptwärmetauscher 3 kaltseitig entnommen und, ausgehend von dem erwähnten Druckniveau von 6 bis 15 bar (abs.) in die Hochdrucksäule 61 entspannt.

[0063] In der Hochdrucksäule 61 wird eine flüssige, sauerstoffangereicherte Fraktion sumpfseitig abgeschieden und in Form des Stroms i abgezogen. Der Strom i wird durch einen Unterkühlungsgegenströmer 8 geführt und anschließend in die Niederdrucksäule 62 entspannt.

[0064] Ein stickstoffreiches Kopfprodukt vom Kopf der Hochdrucksäule 61 wird abgezogen und zu einem Teil in Form des Stroms k durch einen Hauptkondensator 63 der Doppelsäule 6 geführt und dort zumindest teilweise verflüssigt. Ein Teil des flüssigen, stickstoffreichen Kopfprodukts der Hochdrucksäule 61 wird (siehe Verknüpfung A) in Form des Stroms l durch den Unterkühlungsgegenströmer geführt und als flüssiges stickstoffreiches Luftprodukt an der Anlagengrenze abgegeben. Ein weiterer Teil des verflüssigten, stickstoffreichen Kopfprodukts der Hochdrucksäule 61 wird als Rücklauf auf die Hochdrucksäule 61 zurückgeführt.

[0065] Von einem Zwischenboden der Hochdrucksäule 61 wird ein stickstoffangereicherter Strom m abgezogen, ebenfalls durch den Unterkühlungsgegenströmer 8 geführt und kopfnah in die Niederdrucksäule 62 entspannt.

[0066] Im Sumpf der Niederdrucksäule wird eine flüssige, sauerstoffreiche Fraktion gebildet, die (siehe Ver-

knüpfung B) in Form des Stroms n abgezogen, teilweise durch den Unterkühlungsgegenströmer 8 geführt und als flüssiges sauerstoffreiches Luftprodukt an der Anlagen-
grenze abgegeben wird.

[0067] Von einem Zwischenboden der Niederdruck-
säule 62 wird ein sauerstoffangereicherter Strom o ab-
gezogen, mittels einer Pumpe 9 in flüssigem Zustand
druckbeaufschlagt, durch den Unterkühlungsgegenströ-
mer 8 geführt, in dem Hauptwärmetauscher 3 erwärmt
und kopfnah in die Mischsäule 7 eingespeist. Die Misch-
säule 7 wird wie mehrfach erläutert betrieben. Vom Kopf
der Mischsäule 7 wird ein gegenüber dem Strom o an
Sauerstoff abgereicherter Strom p abgezogen, im Haupt-
wärmetauscher 3 erwärmt und als gasförmiges Sauer-
stoffprodukt an der Anlagen-
grenze abgegeben.

[0068] Vom Kopf der Niederdrucksäule 62 wird ein un-
reiner Stickstoffstrom q abgezogen, durch den Unterküh-
lungsgegenströmer 8 und den Hauptwärmetauscher 3
geführt und beispielsweise in einer Aufreinigungseinrich-
tung für den Strom a eingesetzt.

[0069] Ein stickstoffreicher Strom r wird aus nicht durch
den Hauptkondensator 63 geführtem, stickstoffangerei-
chertem Kopfprodukt der Niederdrucksäule 61 gebildet.

[0070] Die in der Figur 1 veranschaulichte Luftzer-
legungsanlage 100 ist für zwei Verfahrensmodi eingerich-
tet, die zuvor erläutert wurden. In einem ersten Verfah-
rensmodus ist die Menge des hier in Form des Stroms n
aus der Luftzerlegungsanlage 100 flüssig ausgeleiteten
flüssigen Luftprodukts größer als in dem zweiten Verfah-
rensmodus. Gleichzeitig wird in dem ersten Verfahrens-
modus über die Turbine 5 eine größere Luftmenge ent-
spannt als in dem zweiten Verfahrensmodus, so dass
der Luftfaktor sich erhöht. In dem zweiten Verfahrens-
modus sinken aufgrund des verringerten Luftfaktors der
Druck und die Menge des Stroms b, also der Enddruck
des Hauptluftverdichters 2 und die Menge der durch die-
sen geführten Luft.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft, bei
dem eine Luftzerlegungsanlage (100) mit einem
Hauptwärmetauscher (3) und einem Destillations-
säulensystem (6, 7) verwendet wird, das eine auf
einem ersten Druckniveau betriebene Hochdruck-
säule (61), eine auf einem zweiten, geringeren
Druckniveau betriebene Niederdrucksäule (62) und
eine Mischsäule (7) umfasst, und bei dem

- der Niederdrucksäule (62) ein sauerstofffrei-
cher Strom (n) mit einem ersten Sauerstoffge-
halt flüssig entnommen und mit dem ersten Sau-
erstoffgehalt flüssig in die Mischsäule (7) einge-
speist wird,
- ferner ein erster Druckluftstrom (h) gasförmig
in die Mischsäule (7) eingespeist und in der
Mischsäule (7) dem sauerstoffreichen Strom (n)

mit dem ersten Sauerstoffgehalt entgegenge-
schickt wird,

- der Mischsäule (7) kopfseitig ein sauerstofffrei-
cher Strom (o) mit einem zweiten Sauerstoffge-
halt unterhalb des ersten Sauerstoffgehalts ent-
nommen und aus der Luftzerlegungsanlage
(100) ausgeleitet wird,

- der erste Druckluftstrom (h) unter Verwendung
von Luft gebildet wird, die auf ein Ausgangs-
druckniveau oberhalb des ersten Druckniveaus
verdichtet und danach auf ein erstes Tempera-
turniveau abgekühlt, auf dem ersten Tempera-
turniveau einer ersten Turbine (4) zugeführt und
in der ersten Turbine (4) entspannt wird, und

- aus der aus der Luftzerlegungsanlage (100)
zumindest zeitweise ein flüssiges sauerstoffrei-
ches Luftprodukt flüssig ausgeleitet wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

- in die Hochdrucksäule (61) ein zweiter Druck-
luftstrom (g) eingespeist wird, der ebenfalls un-
ter Verwendung der auf das Ausgangsdruck-
niveau verdichteten und danach auf das erste
Temperaturniveau abgekühlten und in der ers-
ten Turbine (4) entspannten Luft gebildet wird,

- in die Niederdrucksäule (62) ein dritter Druck-
luftstrom (f) eingespeist wird, der unter Verwen-
dung von Luft gebildet wird, die auf das Aus-
gangsdrukkniveau verdichtet und danach auf
ein zweites Temperaturniveau abgekühlt, auf
dem zweiten Temperaturniveau einer zweiten
Turbine (5) zugeführt, in der zweiten Turbine (5)
entspannt und in dem Hauptwärmetauscher (3)
weiter auf ein drittes Temperaturniveau abge-
kühlt wird,

- die Luft in der ersten Turbine (4) auf das erste
und in der zweiten Turbine (5) auf das zweite
Druckniveau entspannt wird und die Mischsäule
(7) auf dem ersten Druckniveau oder einem drit-
ten Druckniveau betrieben wird, das sich um
höchstens 1 bar von dem ersten Druckniveau
unterscheidet, und

- dass das erste Temperaturniveau mindestens
20 K unterhalb des zweiten Temperaturniveaus
liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem in die Hoch-
drucksäule (62) ein vierter Druckluftstrom (f) einge-
speist wird, der unter Verwendung von Luft gebildet
wird, die auf das Ausgangsdrukkniveau verdichtet
und danach auf ein drittes Temperaturniveau abge-
kühlt und mittels einer Drossel entspannt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, das einen ersten
Verfahrensmodus und einen zweiten Verfahrens-
modus umfasst, wobei

- in dem ersten Verfahrensmodus das flüssige sauerstoffreiche Luftprodukt in einer größeren Menge aus der Luftzerlegungsanlage (100) ausgeleitet wird als in dem zweiten Verfahrensmodus, und
- in dem ersten Verfahrensmodus eine größere Luftmenge in der zweiten Turbine (5) entspannt wird als in dem zweiten Verfahrensmodus und hierdurch zugleich der dritte Druckluftstrom (f) in dem ersten Verfahrensmodus dieselbe größere Luftmenge umfasst als in dem zweiten Verfahrensmodus.
4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem der Hochdrucksäule (61) ein oder mehrere stickstoffreiche Ströme (l, q) entnommen und aus der Luftzerlegungsanlage (100) ausgeleitet werden, wobei die in der zweiten Turbine (4) entspannte und zugleich von dem dritten Druckluftstrom (f) umfasste Luftmenge derart eingestellt wird, dass eine Summe aus der Menge der durch die zweite Turbine (4) entspannten und zugleich von dem dritten Druckluftstrom (f) umfassten Luftmenge und der von dem oder den stickstoffreichen Strömen (l, q) umfassten Menge in dem ersten Verfahrensmodus 12 bis 18 Prozent und in dem zweiten Verfahrensmodus 0 bis 8 Prozent der in das Destillationssäulensystem (6, 7) eingespeisten Gesamtluftmenge entspricht.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, bei dem die gesamte, in das Destillationssäulensystem (6, 7) eingespeiste Luft unter Verwendung eines Hauptluftverdichters (2) auf das Ausgangsdruckniveau gebracht wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem in dem ersten Verfahrensmodus eine größere Luftmenge bei höherem Druck durch den Hauptluftverdichter (2) geführt wird als in dem zweiten Verfahrensmodus.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die in der ersten Turbine (4) und der zweiten Turbine (5) entspannte Luft der ersten Turbine (4) und der zweiten Turbine (5) auf dem demselben Druckniveau zugeführt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 7, bei dem der Ausgangsdruck in dem ersten Verfahrensmodus um 1 bis 10 bar oberhalb des Ausgangsdrucks in dem zweiten Verfahrensmodus liegt.
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das Ausgangsdruckniveau bei 6 bis 15 bar (abs.), das erste Druckniveau bei 4,3 bis 6,9 bar (abs.) und das zweite Druckniveau bei 1,3 bis 1,7 bar (abs.) liegt.
10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
- bei dem das erste Temperaturniveau bei 110 bis 140 °C, das zweite Temperaturniveau bei 130 bis 240 °C und das dritte Temperaturniveau bei 97 bis 102 °C liegt
11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die erste Turbine (4) und/oder die zweite Turbine (5) unter Verwendung eines Generators, eines Boosters und/oder einer Ölbremse gebremst werden.
12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der erste Sauerstoffgehalt 99 bis 100 Molprozent und der zweite Sauerstoffgehalt 80 bis 98 Molprozent beträgt.
13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die erste Turbine (4) und die zweite Turbine (5) drehzahlvariable Turbinen sind.
14. Luftzerlegungsanlage (100) mit einem Hauptwärmetauscher (3) und einem Destillationssäulensystem (6, 7), das eine für einen Betrieb auf einem ersten Druckniveau eingerichtete Hochdrucksäule (61), eine für einen Betrieb auf einem zweiten, geringeren Druckniveau eingerichtete Niederdrucksäule (62) und eine Mischsäule (7) umfasst, und bei der Mittel vorgesehen sind, die dafür eingerichtet sind,
- der Niederdrucksäule (62) einen sauerstoffreichen Strom (n) mit einem ersten Sauerstoffgehalt flüssig zu entnehmen und mit dem ersten Sauerstoffgehalt flüssig in die Mischsäule (7) einzuspeisen,
- ferner einen ersten Druckluftstrom (h) gasförmig in die Mischsäule (7) einzuspeisen und in der Mischsäule (7) dem sauerstoffreichen Strom (n) mit dem ersten Sauerstoffgehalt entgegenzuschicken,
- der Mischsäule (7) kopfseitig einen sauerstoffreichen Strom (o) mit einem zweiten Sauerstoffgehalt unterhalb des ersten Sauerstoffgehalts zu entnehmen und aus der Luftzerlegungsanlage (100) auszuleiten,
- den ersten Druckluftstrom (h) unter Verwendung von Luft zu bilden, die auf ein Ausgangsdruckniveau oberhalb des ersten Druckniveaus verdichtet und danach auf ein erstes Temperaturniveau abgekühlt, auf dem ersten Temperaturniveau einer ersten Turbine (4) zugeführt und in der ersten Turbine (4) entspannt wird, und
- aus der Luftzerlegungsanlage (100) zumindest zeitweise ein flüssiges sauerstoffreiches Luftprodukt flüssig auszuleiten,
- gekennzeichnet durch Mittel, die dafür eingerichtet sind,**

- in die Hochdrucksäule (62) einen zweiten Druckluftstrom (g) einzuspeisen und diesen ebenfalls unter Verwendung der auf das Ausgangsdruckniveau verdichteten und danach auf das erste Temperaturniveau abgekühlten und in der ersten Turbine (4) entspannten Luft zu bilden, 5
 - in die Niederdrucksäule (62) einen dritten Druckluftstrom (f) einzuspeisen und diesen unter Verwendung von Luft zu bilden, die auf das Ausgangsdruckniveau verdichtet und danach auf ein zweites Temperaturniveau abgekühlt, auf dem zweiten Temperaturniveau einer zweiten Turbine (5) zugeführt, in der zweiten Turbine (4) entspannt und in dem Hauptwärmetauscher (3) weiter auf ein drittes Temperaturniveau abgekühlt wird, 10
 - die Luft in der ersten Turbine (4) auf das erste und in der zweiten Turbine (5) auf das zweite Druckniveau zu entspannen und die Mischsäule (7) auf dem ersten Druckniveau oder einem dritten Druckniveau zu betreiben, das sich um höchstens 1 bar von dem ersten Druckniveau unterscheidet, und 15
 - dass das erste Temperaturniveau mindestens 20 K unterhalb des zweiten Temperaturniveaus liegt. 20
15. Luftzerlegungsanlage (100) nach Anspruch 14, die für einen Betrieb in einem ersten Verfahrensmodus und einem zweiten Verfahrensmodus eingerichtet ist, indem Mittel vorgesehen sind, die dafür eingerichtet sind, 30
- in dem ersten Verfahrensmodus das flüssige sauerstoffreiche Luftprodukt in einer größeren Menge aus der Luftzerlegungsanlage (100) auszuleiten als in dem zweiten Verfahrensmodus, und 35
 - in dem ersten Verfahrensmodus eine größere Luftmenge in der zweiten Turbine (5) zu entspannen als in dem zweiten Verfahrensmodus, so dass hierdurch der dritte Druckluftstrom (f) in dem ersten Verfahrensmodus dieselbe größere Luftmenge umfasst als in dem zweiten Verfahrensmodus. 40

50

55

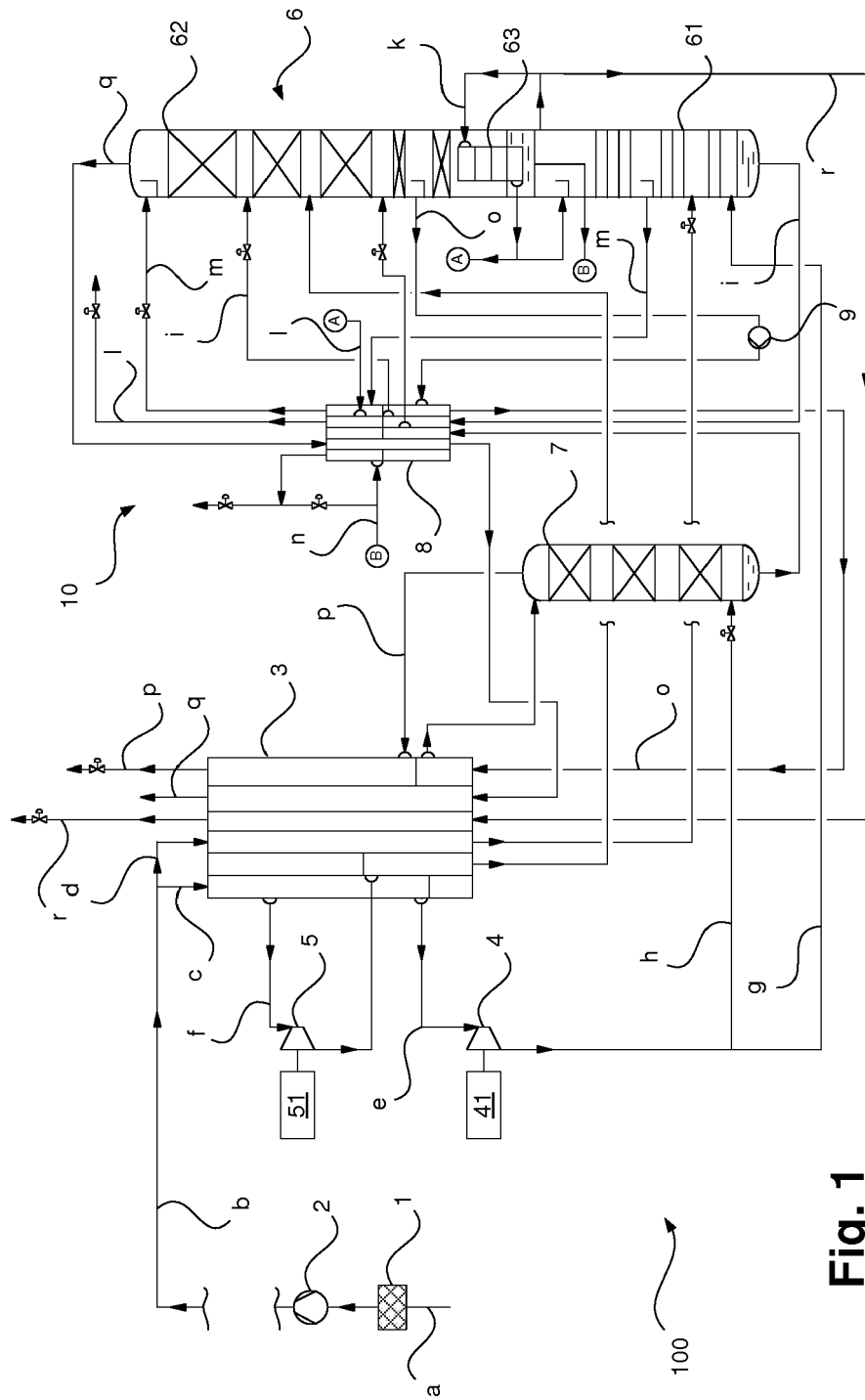


Fig. 1



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 16 02 0460

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	FR 2 895 068 A1 (AIR LIQUIDE [FR]) 22. Juni 2007 (2007-06-22) * Seite 9, Zeilen 32-33; Abbildung 3 * * Seite 10, Zeilen 22-23 * * Seite 11, Zeilen 21-22 * * Seite 12, Zeilen 15-18,25,33 * * Seite 13, Zeilen 18-22 * -----	1-15	INV. F25J3/04
Y,P	EP 2 980 514 A1 (LINDE AG [DE]) 3. Februar 2016 (2016-02-03) * Absätze [0043], [0044]; Abbildung 1 * -----	1-15	
A	FR 2 913 759 A1 (AIR LIQUIDE [FR]) 19. September 2008 (2008-09-19) * Seite 3, Zeilen 7-34 * * Seite 4, Zeilen 3-4,25-26 * * Seite 5, Zeilen 5-6,24-27 * * Seite 6, Zeile 33 - Seite 8, Zeile 15 * -----	3-6,8,15	
A	DE 10 2013 002094 A1 (LINDE AG [DE]) 7. August 2014 (2014-08-07) * Absätze [0014], [0016], [0025] - [0027], [0048]; Abbildung 1 * -----	3,4,10,15	RECHERCHIERTES SACHGEBIETE (IPC) F25J
A	US 5 379 598 A (MOSTELLO ROBERT A [US]) 10. Januar 1995 (1995-01-10) * Spalte 9, Zeilen 48-58; Abbildung 1; Tabelle * -----	1,7,14	
A	EP 0 698 772 A1 (BOC GROUP INC [US]) 28. Februar 1996 (1996-02-28) * das ganze Dokument * -----	1,14	
A,D	DE 199 51 521 A1 (LINDE AG [DE]) 3. Mai 2001 (2001-05-03) * das ganze Dokument * -----	1,14	
	----- -/--		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 28. April 2017	Prüfer Göritz, Dirk
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : 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)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 16 02 0460

5

10

15

20

25

30

35

40

45

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A,D	WO 2014/037091 A2 (LINDE AG [DE]) 13. März 2014 (2014-03-13) * das ganze Dokument * -----	1,14	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 28. April 2017	Prüfer Göritz, Dirk
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : 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)

50

55

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

EP 16 02 0460

5

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

28-04-2017

10

15

20

25

30

35

40

45

50

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
FR 2895068 A1	22-06-2007	BR P10619924 A2	25-10-2011
		CN 101331374 A	24-12-2008
		FR 2895068 A1	22-06-2007
		KR 20080074175 A	12-08-2008
		UA 96431 C2	10-11-2011
		WO 2007068858 A2	21-06-2007

EP 2980514 A1	03-02-2016	EP 2980514 A1	03-02-2016
		WO 2016015860 A1	04-02-2016

FR 2913759 A1	19-09-2008	BR P10808718 A2	12-08-2014
		CN 101883963 A	10-11-2010
		EP 2118601 A2	18-11-2009
		FR 2913759 A1	19-09-2008
		JP 5032596 B2	26-09-2012
		JP 2010531424 A	24-09-2010
		RU 2009137758 A	20-04-2011
		US 2011011130 A1	20-01-2011
WO 2008129198 A2	30-10-2008		

DE 102013002094 A1	07-08-2014	KEINE	

US 5379598 A	10-01-1995	AU 669998 B2	27-06-1996
		CA 2128565 A1	24-02-1995
		DE 69413918 D1	19-11-1998
		DE 69413918 T2	04-03-1999
		EP 0644388 A1	22-03-1995
		FI 943848 A	24-02-1995
		JP H07174461 A	14-07-1995
		NO 942972 A	24-02-1995
		TW 241331 B	21-02-1995
		US 5379598 A	10-01-1995
		ZA 9405380 B	19-05-1995

EP 0698772 A1	28-02-1996	AU 690295 B2	23-04-1998
		DE 69509841 D1	01-07-1999
		DE 69509841 T2	23-09-1999
		EP 0698772 A1	28-02-1996
		JP H0875349 A	19-03-1996
		US 5490391 A	13-02-1996
ZA 9506148 B	06-06-1996		

DE 19951521 A1	03-05-2001	KEINE	

WO 2014037091 A2	13-03-2014	CL 2015000527 A1	19-06-2015
		DE 102012017484 A1	06-03-2014

EPO FORM P0461

55

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

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

EP 16 02 0460

5

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

28-04-2017

10

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
		EP 2703757 A1	05-03-2014
		EP 2906889 A2	19-08-2015
		RU 2015112309 A	27-10-2016
		WO 2014037091 A2	13-03-2014

15

20

25

30

35

40

45

50

EPO FORM P0461

55

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

- DE 2204376 A1 [0004]
- US 4022030 A [0004]
- US 5454227 A [0004]
- US 5490391 A [0004]
- DE 19803437 A1 [0004]
- DE 19951521 A1 [0004]
- EP 1139046 B1 [0004]
- US 2001052244 A1 [0004]
- EP 1284404 A1 [0004]
- US 6662595 B2 [0004]
- DE 10209421 A1 [0004]
- DE 10217093 A1 [0004]
- EP 1376037 B1 [0004]
- US 6776004 B2 [0004]
- EP 1387136 A1 [0004]
- EP 1666824 A1 [0004]
- FR 2895068 A1 [0004]
- WO 2014037091 A2 [0008] [0018] [0020] [0029]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Cryogenic Rectification. Industrial Gases Processing. Wiley-VCH, 2006 [0002]
- Development of Low Oxygen-Purity Processes. **F.G. KERRY**. Industrial Gas Handbook: Gas Separation and Purification. CRC Press, 2006 [0003]