

(19)



(11)

EP 3 410 050 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
05.12.2018 Patentblatt 2018/49

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

(21) Anmeldenummer: **18020214.5**

(22) Anmeldetag: **17.05.2018**

(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:
KH MA MD TN

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

(72) Erfinder: **Golubev, Dimitri**
82538 Geretsried (DE)

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

(30) Priorität: **02.06.2017 EP 17020238**

(54) **VERFAHREN ZUR GEWINNUNG EINES ODER MEHRERER LUFTPRODUKTE UND LUFTZERLEGUNGSANLAGE**

(57) Die Erfindung schlägt ein Verfahren zur Gewinnung eines oder mehrerer Luftprodukte unter Verwendung einer Luftzerlegungsanlage (100) mit einem Rektifikationssäulensystem (14-17), das eine Hochdrucksäule (14) und eine Niederdrucksäule (15) umfasst, sowie mit einem Hauptwärmetauscher (9) und einem Hauptluftverdichter vor, wobei die gesamte, dem Rektifikationssäulensystem (10-17) zugeführte Luft in dem Hauptluftverdichter (1) auf ein erstes Druckniveau verdichtet wird, und die Hochdrucksäule (15) auf einem zweiten Druckniveau betrieben wird, das mindestens 3 bar unterhalb des ersten Druckniveaus liegt, und der Hochdrucksäule (15) auf dem zweiten Druckniveau ein gasförmiges stickstoffreiches Fluid entnommen und ohne ei-

ne vorherige Verflüssigung in gasförmigem Zustand erwärmt wird. Es ist vorgesehen, dass eine erste Teilmenge des gasförmigen stickstoffreichen Fluids auf ein erstes Temperaturniveau von -150 bis -100 °C, insbesondere von -140 bis -120 °C erwärmt, auf diesem einem Booster (12) zugeführt, und unter Verwendung des Boosters (12) weiter auf ein drittes Druckniveau verdichtet wird und die erste Teilmenge nach der Verdichtung auf das dritte Druckniveau auf ein zweites Temperaturniveau oberhalb des ersten Temperaturniveaus erwärmt und dauerhaft aus der Luftzerlegungsanlage (100) ausgeleitet wird. Eine entsprechende Luftzerlegungsanlage (100) ist ebenfalls Gegenstand der Erfindung.

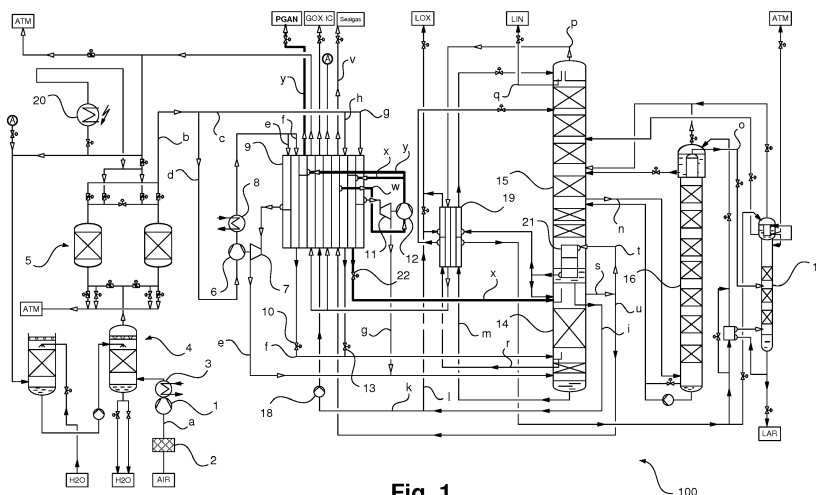


Fig. 1

100

EP 3 410 050 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Gewinnung eines oder mehrerer Luftprodukte und eine Luftzerlegungsanlage gemäß den Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche.

Stand der Technik

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

[0003] Luftzerlegungsanlagen weisen Rektifikationssäulensysteme auf, die beispielsweise als Zweisäulensysteme, insbesondere als klassische Linde-Doppelsäulensysteme, aber auch als Drei- oder Mehrsäulensysteme ausgebildet sein können. Neben den Rektifikationssäulen zur Gewinnung von Stickstoff und/oder Sauerstoff in flüssigem und/oder gasförmigem Zustand, also den Rektifikationssäulen zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung, können Rektifikationssäulen zur Gewinnung weiterer Luftkomponenten, insbesondere der Edelgase Krypton, Xenon und/oder Argon, vorgesehen sein.

[0004] Die Rektifikationssäulen der genannten Rektifikationssäulensysteme werden auf unterschiedlichen Druckniveaus betrieben. Doppelsäulensysteme weisen eine sogenannte Hochdrucksäule (auch als Drucksäule, Mitteldrucksäule oder untere Säule bezeichnet) und eine sogenannte Niederdrucksäule (auch als obere Säule bezeichnet) auf. Das Druckniveau der Hochdrucksäule beträgt beispielsweise 4 bis 6 bar, vorzugsweise etwa 5,5 bar. Die Niederdrucksäule wird auf einem Druckniveau von beispielsweise 1,3 bis 1,7 bar, vorzugsweise etwa 1,5 bar, betrieben. Bei den hier und nachfolgend angegebenen Druckniveaus handelt es sich jeweils um Absolutdrücke, die am Kopf der jeweils genannten Säulen vorliegen. Die genannten Werte stellen lediglich Beispiele dar, die bei Bedarf verändert werden können.

[0005] Zur Luftzerlegung können sogenannte Hauptverdichter/Nachverdichter-(Main Air Compressor/Booster Air Compressor-, MAC-BAC-)Verfahren oder sogenannte Hochluftdruck-(High Air Pressure-, HAP-)Verfahren eingesetzt werden. Bei den Hauptverdichter/Nachverdichter-Verfahren handelt es sich um die eher konventionelleren Verfahren, Hochluftdruck-Verfahren kommen zunehmend in jüngerer Zeit als Alternativen zum Einsatz.

[0006] Hauptverdichter/Nachverdichter-Verfahren zeichnen sich dadurch aus, dass nur ein Teil der dem Rektifikationssäulensystem insgesamt zugeführten Einsatzluftmenge auf ein Druckniveau verdichtet wird, das wesentlich, d.h. um mindestens 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 oder 10 bar, oberhalb des Druckniveaus der Hochdrucksäule liegt. Ein weiterer Teil der Einsatzluftmenge wird lediglich auf das Druckniveau der Hochdrucksäule oder ein Druck-

niveau, das sich um nicht mehr als 1 bis 2 bar von dem Druckniveau der Hochdrucksäule unterscheidet, verdichtet, und auf diesem niedrigeren Druckniveau in die Hochdrucksäule eingespeist. Ein Beispiel für ein Hauptverdichter/Nachverdichter-Verfahren ist bei Häring (s.o.) in Figur 2.3A gezeigt.

[0007] Bei einem Hochluftdruck-Verfahren wird hingegen die gesamte dem Rektifikationssäulensystem insgesamt zugeführte Einsatzluftmenge auf ein Druckniveau verdichtet, das wesentlich, d.h. um mindestens 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 oder 10 bar oberhalb des Druckniveaus der Hochdrucksäule liegt. Der Druckunterschied kann beispielsweise bis zu 14, 16, 18 oder 20 bar betragen. Hochluftdruck-Verfahren sind beispielsweise aus der EP 2 980 514 A1 und der EP 2 963 367 A1 bekannt.

[0008] Die vorliegende Erfindung kommt insbesondere bei Luftzerlegungsanlagen mit sogenannter Innenverdichtung (IV, Internal Compression, IC) zum Einsatz. Hierbei wird wenigstens ein Produkt, das mittels der Luftzerlegungsanlage bereitgestellt wird, dadurch gebildet, dass dem Rektifikationssäulensystem eine tiefkalte Flüssigkeit entnommen, einer Druckerhöhung unterworfen, und durch Erwärmen in den gasförmigen oder überkritischen Zustand überführt wird. Beispielsweise kann auf diese Weise innenverdichteter gasförmiger Sauerstoff (GOX IV, GOX IC) oder Stickstoff (GAN IV, GAN IC) erzeugt werden. Die Innenverdichtung bietet eine Reihe von Vorteilen gegenüber einer alternativ ebenfalls möglichen externen Verdichtung und ist z.B. bei Häring (s.o.), Abschnitt 2.2.5.2, "Internal Compression", erläutert. Auch beispielsweise in der US 2004/0221612 A1 und der US 5,475,980 A sind Innenverdichtungsverfahren offenbart.

[0009] Aufgrund von deutlich geringeren Kosten und vergleichbarer Effizienz können Hochluftdruck-Verfahren eine vorteilhafte Alternative zu den konventionelleren Hauptverdichter/Nachverdichter-Verfahren darstellen. Dies gilt jedoch nicht in sämtlichen Fällen. Die vorliegende Erfindung stellt sich daher die Aufgabe, zumindest in einem Teil solcher Fälle einen vorteilhaften Einsatz eines Hochluftdruck-Verfahrens zu ermöglichen.

Offenbarung der Erfindung

[0010] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Gewinnung eines oder mehrerer Luftprodukte und eine Luftzerlegungsanlage mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Ausgestaltungen sind jeweils Gegenstand der abhängigen Patentansprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0011] Nachfolgend werden zunächst einige Grundlagen der vorliegenden Erfindung erläutert und zur Beschreibung der Erfindung verwendete Begriffe definiert.

[0012] Unter einer "Einsatzluftmenge" oder kurz "Einsatzluft" wird im Rahmen dieser Anmeldung der dem Rektifikationssäulensystem einer Luftzerlegungsanlage insgesamt zugeführte und damit sämtliche dem Rektifikationssäulensystem zugeführte Luft verstanden. Wie

bereits zuvor erläutert, wird eine entsprechende Einsatzluftmenge in einem Hauptverdichter/Nachverdichter-Verfahren nur zu einem Teil auf ein Druckniveau verdichtet, das deutlich oberhalb des Druckniveaus der Hochdrucksäule liegt. Hingegen wird in einem Hochluftdruck-Verfahren die gesamte Einsatzluftmenge auf ein derartig hohes Druckniveau verdichtet. Zur Bedeutung des Begriffs "deutlich" im Zusammenhang mit Hauptverdichter/Nachverdichter- und Hochluftdruck-Verfahren sei auf die obigen Erläuterungen verwiesen.

[0013] Unter einer "tiefkalten" Flüssigkeit wird hier ein flüssiges Medium verstanden, dessen Siedepunkt deutlich unterhalb der Umgebungstemperatur liegt, z.B. bei -50 °C oder weniger, insbesondere bei -100 °C oder weniger. Beispiele für tiefkalte Flüssigkeiten sind flüssige Luft, flüssiger Sauerstoff, flüssiger Stickstoff, flüssiges Argon oder Flüssigkeiten, die reich an den genannten Verbindungen sind.

[0014] Zu den in Luftzerlegungsanlagen eingesetzten Vorrichtungen bzw. Apparaten sei auf Fachliteratur wie Häring (s.o.), insbesondere Abschnitt 2.2.5.6, "Apparatus" verwiesen. Nachfolgend werden zur Verdeutlichung und klareren Abgrenzung einige Aspekte entsprechender Vorrichtungen näher erläutert.

[0015] In Luftzerlegungsanlagen kommen zur Verdichtung der Einsatzluftmenge mehrstufige Turboverdichter zum Einsatz, die hier als "Hauptluftverdichter" bezeichnet werden. Der mechanische Aufbau von Turboverdichtern ist dem Fachmann grundsätzlich bekannt. In einem Turboverdichter erfolgt die Verdichtung des zu verdichtenden Mediums mittels Turbinenschaufeln, die auf einem Turbinenrad oder direkt auf einer Welle angeordnet sind. Ein Turboverdichter bildet dabei eine bauliche Einheit, die jedoch bei einem mehrstufigen Turboverdichter mehrere Verdichterstufen aufweisen kann. Eine Verdichterstufe umfasst dabei in der Regel ein Turbinenrad oder eine entsprechende Anordnung von Turbinenschaufeln. Alle dieser Verdichterstufen können von einer gemeinsamen Welle angetrieben werden. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, die Verdichterstufen gruppenweise mit unterschiedlichen Wellen anzutreiben, wobei die Wellen auch über Getriebe miteinander verbunden sein können.

[0016] Der Hauptluftverdichter zeichnet sich ferner dadurch aus, dass durch diesen die gesamte in das Rektifikationssäulensystem eingespeiste und zur Herstellung von Luftprodukten verwendete Luftmenge, also die gesamte Einsatzluft, verdichtet wird. Entsprechend kann auch ein "Nachverdichter" vorgesehen sein, in dem aber nur ein Teil der im Hauptluftverdichter verdichteten Luftmenge auf einen nochmals höheren Druck gebracht wird. Auch dieser kann 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. Auch in einem Hochluftdruck-Verfahren kann ein Nachverdich-

ter vorhanden sein, dieser verdichtet jedoch eine Teilmenge der Luft dann ausgehend von einem entsprechend höheren Druckniveau.

[0017] An mehreren Stellen in Luftzerlegungsanlagen kann ferner Luft entspannt werden, wozu unter anderem Entspannungsmaschinen in Form von Turboexpandern, hier auch als "Entspannungsturbinen" 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 (die Entspannungsturbine) und der Turboverdichter (der Booster) mechanisch gekoppelt, wobei die Kopplung drehzahlgleich (beispielsweise über eine gemeinsame Welle) oder drehzahlunterschiedlich (beispielsweise über ein zwischengeschaltetes Getriebe) erfolgen kann. Ein Booster kann aber grundsätzlich auch unter Verwendung von externer Energie, beispielsweise unter Einsatz eines Elektromotors, angetrieben werden. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung können, wie auch nachfolgend noch im Detail erläutert, Turbinenbooster und unter Verwendung von externer Energie angetriebene Booster verwendet werden.

[0018] Flüssige, gasförmige oder auch im überkritischen Zustand vorliegende Fluide können im hier verwendeten Sprachgebrauch reich oder arm an einer oder mehreren Komponenten sein, wobei "reich" für einen Gehalt von wenigstens 75%, 90%, 95%, 99%, 99,5%, 99,9% oder 99,99% und "arm" für einen Gehalt von höchstens 25%, 10%, 5%, 1%, 0,1% oder 0,01% auf Mol-, Gewichts- oder Volumenbasis stehen kann. Der Begriff "überwiegend" kann der soeben getroffenen Definition von "reich" entsprechen, bezeichnet jedoch insbesondere einen Gehalt von mehr als 90%. Ist hier beispielsweise von "Stickstoff" die Rede, kann es sich um ein Reingas, aber auch ein an Stickstoff reiches Gas handeln.

[0019] Nachfolgend werden zur Charakterisierung von Drücken und Temperaturen die Begriffe "Druckniveau" und "Temperaturniveau" verwendet, wodurch zum Ausdruck gebracht werden soll, dass Drücke und Temperaturen nicht in Form exakter Druck- bzw. Temperaturwerte verwendet werden müssen, um ein erfinderisches 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. Unterschiedliche 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. Bei hier in bar angegebenen Druckniveaus handelt es sich um Absolutdrücke.

Vorteile der Erfindung

[0020] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird ein kostengünstiges und gleichzeitig effizientes Hochluftdruck-Verfahren geschaffen. Wie bereits eingangs erläutert, stellen derartige Hochluftdruck-Verfahren in bestimmten Fällen eine gute Alternative zu herkömmlichen Hauptverdichter/Nachverdichter-Verfahren dar. Die vorliegende Erfindung bezieht sich dabei beispielsweise auf ein Verfahren, bei dem ca. 37.000 Normkubikmeter verdichteten gasförmigen Sauerstoffs pro Stunde bei 31 bar, 20.000 Normkubikmeter gasförmigen Stickstoffs pro Stunde bei 10 bar, 3.000 Normkubikmeter flüssigen Stickstoffs pro Stunde und 3.300 Normkubikmeter flüssigen Sauerstoffs pro Stunde bei gleichzeitiger Argonproduktion gebildet werden können.

[0021] Grundsätzlich sind aus dem Stand der Technik unterschiedliche Hochluftdruck-Verfahren bekannt. Diese werden häufig nach der Flüssigkeitsleistung der Anlage bzw. nach dem Verhältnis von innenverdichteten Produkten zu Flüssigprodukten klassifiziert und unterschieden. Bei einer nicht zu hohen Flüssigleistung, wie sie auch im Rahmen der vorliegenden Erfindung in Betracht gezogen wird, wird beispielsweise ein sogenannter Kaltbooster eingesetzt, um die Prozesseffizienz durch Umwandlung überschüssiger Kälteleistung in höheren Luftdruck zu steigern. In einem entsprechenden Kaltbooster wird herkömmlicherweise ein Teil der der Luftzerlegungsanlage zugeführten Einsatzluft, der im Hauptwärmetauscher auf ein Zwischentemperaturniveau abgekühlt und ggf. zuvor bereits druckerhöht wurde, auf ein höheres Druckniveau gebracht. Eine Luftzerlegungsanlage mit einem Kaltbooster ist beispielsweise in der EP 3 101 374 A2 offenbart.

[0022] Grundsätzlich wird dabei hier unter einem Kaltbooster ein Booster verstanden, der mit Fluid gespeist wird, das auf einem Temperaturniveau vorliegt, das deutlich unterhalb der jeweiligen Umgebungstemperatur am Ort der Luftzerlegungsanlage liegt, insbesondere deutlich unterhalb von 0 °C, -10 °C, -20 °C, -30 °C, -40 °C oder -50 °C oder noch darunter. Die Steigerung der Prozesseffizienz durch einen Kaltbooster ist möglich, weil durch die vergleichsweise reduzierte Flüssigleistung dem System keine entsprechende Kältemenge "entzogen" wird, wie dies der Fall wäre, wenn entsprechende Produkte flüssig ausgeführt würden. Ein Kaltbooster zum Einsatz in der vorliegenden Erfindung kann als Turbinenbooster oder als mit externer Energie angetriebener Booster ausgebildet sein.

[0023] Es ist ferner auch bekannt, dass der kF-Wert (also das Produkt aus Wärmedurchgangskoeffizient k und Wärmetauscherfläche F) des Hauptwärmetauschers einer Luftzerlegungsanlage durch den Einsatz eines Kaltboosters vergrößert werden kann. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die bei der Kaltverdichtung in dem Kaltbooster aufgenommene Leistung praktisch vollständig im Hauptwärmetauscher selbst abgeführt wird. Dadurch wird zwar der Innenverdichtungsprozess bzw. das

Q-T-Profil im Wärmetauscher verbessert, die benötigte Austauschfläche wird jedoch größer, da die Menge an verdichtetem Gas in einem bestimmten Temperaturbereich praktisch zweimal abgekühlt wird. Zur Veranschaulichung sei beispielsweise auf Figur 1 der bereits erwähnten EP 3 101 374 A2 hingewiesen. Dort wird der Stoffstrom i aufgrund der Temperaturerhöhung durch die Verdichtung dem Hauptwärmetauscher 7 vor der Druckerhöhung im Kaltbooster 101 auf einem tieferen Temperaturniveau entnommen, als dem, auf dem er danach dem Hauptwärmetauscher 7 wieder zugeführt wird. Die Verbesserung im Q-T-Profil ist thermodynamisch betrachtet auf die Erhöhung des Unterschieds in den Wärmekapazitäten der kalten und warmen Ströme in diesem Temperaturbereich zurückzuführen.

[0024] Eine Verbesserung der Effizienz von Hochluftdruck-Verfahren durch den Einsatz mehrerer Drosselströme bei unterschiedlichem Drücken ist ebenfalls bekannt. Bei einem "Drosselstrom" handelt es sich dabei um einen Teil der Einsatzluftmenge, die auf einem Druckniveau oberhalb des Betriebsdrucks der Hochdrucksäule im Hauptwärmetauscher abgekühlt, zumindest teilweise verflüssigt bzw. bei entsprechendem Druck auf dem gasförmigen in den überkritischen Zustand überführt und anschließend mittels einer Entspannungseinrichtung, klassischerweise eines Entspannungsventils ("Drossel") entspannt und dem Rektifikationssäulensystem, insbesondere der Hochdrucksäule, zugeführt wird.

[0025] Ein Druckstickstoffprodukt bei beispielsweise ca. 10 bar kann beispielsweise durch Nachverdichtung bereitgestellt werden, insbesondere als Druckstickstoff aus der bei ca. 5,5 bar arbeitenden Hochdrucksäule oder durch Innenverdichtung. Im ersten Fall wird ein separater Verdichter benötigt, im letzteren eine Innenverdichtungs- und ein nochmals größerer Wärmetauscher.

[0026] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird nun die eingangs erläuterte Aufgabe, die darin besteht, ein kostengünstiges und gleichwohl effizientes HAP-Verfahren bereitzustellen, dadurch gelöst, dass anstelle einer Kaltverdichtung eines Einsatzluftstroms zur Verbesserung des Q-T-Profils im Hauptwärmetauscher, wie es grundsätzlich aus dem Stand der Technik bekannt ist, einen Stickstoffstrom aus der Hochdrucksäule in einem Turbinenbooster oder einem mit externer Energie angetriebenen Booster kalt zu verdichten. Dieses wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung in besonders vorteilhafter Weise ausgestaltet und weitergebildet.

[0027] Die Druckverhältnisse von Kaltboostern liegen typischerweise bei maximal 1,9 bis 2. Ein Druckverhältnis ist dabei definiert als das Verhältnis des Eingangsdrucks zum Ausgangsdruck eines entsprechenden Boosters. Dieses Druckverhältnis reicht aus, um die geforderte Menge an Stickstoffprodukt, im vorliegenden Fall bei ca. 10 bar, zu liefern. Daher ist ein Kaltbooster zur Bereitstellung von Druckstickstoff auf einem entsprechenden Druckniveau vorteilhaft einsetzbar.

[0028] Durch den Einsatz eines Kaltboosters für einen entsprechenden Stickstoff-Produktstrom kann grund-

sätzlich derselbe Effekt erzielt werden wie durch die Kaltverdichtung in dem Kaltbooster und die anschließende Abkühlung eines Teilstroms der Einsatzluft. Die Verbesserung im Q-T-Profil wird dabei ebenfalls durch das günstigere Verhältnis der Wärmekapazitäten zwischen den kalten und warmen Strömen erreicht. Im Gegensatz zu den bekannten Verfahren besteht jedoch der Unterschied darin, dass bei der im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorgeschlagenen Ausführung die Wärmekapazität von kalten Strömen (durch Ableiten eines entsprechenden Stickstoffstroms zum Kaltbooster) in bestimmten Wärmetauscherbereichen reduziert wird. Bei der im Stand der Technik üblichen Luftnachverdichtung wird dagegen die Wärmekapazität von warmen Strömen durch eine zweifache Führung des kaltverdichteten Luftstroms durch den Wärmetauscher vergrößert. Der beschriebene Unterschied wirkt sich positiv auf den kF-Wert des Wärmetauschers aus. Dieser wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung reduziert, da die Leistung des Kaltboosters für den Druckstickstoff nicht im Hauptwärmetauscher abgeführt werden muss (der Druckstickstoffstrom erwärmt sich durch die Verdichtung und wird anschließend an einer passenden Stelle zur anschließenden Anwärmung auf nahe Umgebungstemperatur in den Hauptwärmetauscher zurückgespeist).

[0029] Die vorliegende Erfindung umfasst zusätzlich zu der Kaltverdichtung eines Druckstickstoffprodukts auch die besonders vorteilhafte Ausbalancierung der überschüssigen Kälteleistung im gesamten Prozess und der Leistung des Kaltboosters. Dies kann dadurch erreicht werden, dass in einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung neben der Produktmenge auch eine bestimmte zusätzliche Menge an Druckstickstoff aus der Hochdrucksäule mitverdichtet und anschließend als zusätzlicher Drosselstrom im Hauptwärmetauscher verwendet wird. Eine entsprechende zusätzliche Menge an Druckstickstoff wird also im Hauptwärmetauscher zumindest teilweise verflüssigt und wieder in das Rektifikationssäulensystem, insbesondere die Hochdrucksäule, eingespeist.

[0030] Auf diese Weise wird praktisch die gesamte Leistung des Kaltboosters ausgereizt und das Q-T-Profil im Wärmetauscher durch einen zusätzlichen Drosselstrom verbessert. Im gewissen Sinne stellt diese Ausführung eine Kombination von beiden beschriebenen Methoden zur Verbesserung des Q-T-Profils dar. Der Einsatz eines zusätzlichen Stickstoff-Drosselstroms wirkt sich auch positiv auf die Produktausbeute aus, da auf diese Weise weniger Luft vorverflüssigt wird (anstelle von Einsatzluft wird Druckstickstoff aus der Hochdrucksäule verflüssigt).

[0031] Von Bedeutung ist dabei auch eine entsprechende Anpassung der Rektifikation, wie sie unten nochmals erwähnt wird. Um mehr Druckstickstoff aus der Drucksäule ohne die Verschlechterung der Argon-Ausbeute entnehmen zu können, sollte die Niederdrucksäule argonoptimiert, also mit einem zusätzlichen Rektifikationsabschnitt zwischen den Einspeisestellen der Argon-

kondensatoren ausgeführt werden, wenn beispielsweise Roh- und Reinargonsäulen oder Argonausschleussäulen verwendet werden. Die Menge des zusätzlichen Stickstoff-Drosselstroms stellt dabei einen Optimierungsparameter dar. Sämtlicher Stickstoff, der der Hochdrucksäule entnommen und weder kondensiert und als Rücklauf in diese zurückgeführt noch kondensiert und als flüssiger Rücklauf auf die Niederdrucksäule verwendet wird (wie vorliegend der Fall), beeinträchtigt grundsätzlich die Trennung in der Niederdrucksäule, weil er dort nicht mehr als Rücklauf zur Verfügung steht.

[0032] Insgesamt schlägt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Gewinnung eines oder mehrerer Luftprodukte unter Verwendung einer Luftzerlegungsanlage mit einem Rektifikationssäulensystem vor, das eine Hochdrucksäule und eine Niederdrucksäule umfasst, und die ferner mit einem Hauptwärmetauscher und einem Hauptluftverdichter ausgestattet ist. Wie bereits erwähnt, kommt die vorliegende Erfindung in Zusammenhang mit einem Hochluftdruck-Verfahren zum Einsatz, es wird also die gesamte, dem Rektifikationssäulensystem zugeführte Luft in dem Hauptluftverdichter auf ein erstes Druckniveau verdichtet und die Hochdrucksäule wird auf einem zweiten Druckniveau betrieben, das mindestens 3 bar unterhalb des ersten Druckniveaus liegt. Für weitere typische Druckunterschiede sei auf die Erläuterungen in der Einleitung ausdrücklich verwiesen.

[0033] Ferner wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung, wie grundsätzlich bekannt, der Hochdrucksäule auf dem zweiten Druckniveau ein gasförmiges, stickstoffreiches Fluid entnommen und ohne eine vorherige Verflüssigung im gasförmigen Zustand erwärmt. Bei diesem Fluid handelt es sich in herkömmlichen Luftzerlegungsanlagen um Druckstickstoff, der als Verfahrensprodukt der Luftzerlegungsanlage entzogen werden soll. Herkömmlicherweise erfolgt eine vollständige Anwärmung eines derartigen stickstoffreichen Fluids in dem Hauptwärmetauscher und eine anschließende Abgabe als ein entsprechendes Produkt. Ist hier davon die Rede, dass ein entsprechendes Fluid "ohne eine vorherige Verflüssigung" in gasförmigem Zustand erwärmt wird, sei hierunter verstanden, dass es sich bei einem entsprechenden Fluid nicht um solchen Stickstoff handelt, der aus der Hochdrucksäule entnommen, in einem die Hoch- und die Niederdrucksäule wärmetauschend verbindenden Hauptkondensator verflüssigt und anschließend beispielsweise auf die Hochdrucksäule zurückgeführt bzw. in die Niederdrucksäule eingespeist wird. Auch derartige Fluid kann grundsätzlich angewärmt werden oder beispielsweise zur Bereitstellung von Flüssigstickstoff dienen. Entsprechende Fluide können auch im Rahmen der vorliegenden Erfindung (jedoch zusätzlich zu dem ohne vorherige Verflüssigung in gasförmigem Zustand erwärmten Fluid) eingesetzt werden.

[0034] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist dabei vorgesehen, eine erste Teilmenge des gasförmigen, stickstoffreichen Fluids auf ein erstes Temperaturniveau von -150 bis -100 °C, insbesondere von -140 bis -120

°C, beispielsweise -130 °C, zu erwärmen, auf diesem ersten Temperaturniveau einen Booster zuzuführen, und unter Verwendung des Boosters weiter auf ein drittes Druckniveau zu verdichten. Bei dem Booster handelt es sich aufgrund der Temperaturniveaus, auf denen das gasförmige, stickstoffreiche Fluid bzw. die erste Teilmenge dieses Fluids dem Booster zugeführt werden, um einen "Kaltbooster" im oben erläuterten Sinn. Dieser kann als ein Turbinenbooster oder als ein mittels externer Energie angetriebener Booster ausgebildet sein, wie bereits erläutert. Die Vorteile der Verwendung eines Kaltboosters wurden ebenfalls bereits zuvor erwähnt. Das dritte Druckniveau liegt insbesondere auf einem Druckniveau, auf dem ein entsprechendes Stickstoffprodukt abgegeben werden soll, etwa auf einem Druck von 8 bis 12 bar, insbesondere von 9 bis 11 bar, beispielsweise 10 bar. Bei einem derartigen Druckniveau handelt es sich also um den Abgabedruck eines entsprechenden stickstoffreichen Druckprodukts.

[0035] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist ferner vorgesehen, die erste Teilmenge nach der Verdichtung auf das dritte Druckniveau auf ein zweites Temperaturniveau oberhalb des ersten Temperaturniveaus, das insbesondere bei Umgebungstemperatur liegen kann, zu erwärmen, und dauerhaft aus der Luftzerlegungsanlage auszuleiten. Die entsprechende erste Teilmenge wird also als Druckprodukt bereitgestellt.

[0036] Ferner ist gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vorgesehen, eine zweite Teilmenge des gasförmigen, stickstoffreichen Fluids zusammen mit der zuvor bereits erwähnten ersten Teilmenge ebenfalls auf das erste Temperaturniveau zu erwärmen, auf diesem ersten Temperaturniveau dem Booster zuzuführen, und unter Verwendung des Boosters weiter auf das dritte Druckniveau zu verdichten. Hierbei ist jedoch vorgesehen, die zweite Teilmenge nach der Verdichtung auf das dritte Druckniveau auf ein drittes Temperaturniveau unterhalb des ersten Temperaturniveaus abzukühlen, anschließend auf das zweite Druckniveau zu entspannen und wieder die Hochdrucksäule zurückzuführen. Die zweite Teilmenge wird dabei bei der Abkühlung auf das dritte Temperaturniveau insbesondere zumindest teilweise verflüssigt bzw. aus dem überkritischen Zustand in den flüssigen Zustand überführt. Es wird also in diesem Fall, wie erwähnt, eine Teilmenge (nämlich die zweite Teilmenge) des in dem Kaltbooster verdichteten Druckstickstoffs als weiterer Drosselstrom eingesetzt. Bei dem dritten Temperaturniveau kann es sich um ein Temperaturniveau von -180 bis -165 °C, insbesondere von -177 bis -167 °C, beispielsweise -172 °C, handeln.

[0037] Es ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung ferner auch möglich, eine dritte Teilmenge des stickstoffreichen Fluids ohne Verdichtung auf das dritte Druckniveau auf das erste Temperaturniveau zu erwärmen und dauerhaft aus der Luftzerlegungsanlage auszuleiten. Entsprechender Stickstoff kann beispielsweise in Form von sogenanntem Sealgas bzw. als ein Stickstoffprodukt

auf geringerem Druckniveau bereitgestellt werden. Die erste, die zweite und die dritte Teilmenge bilden vorzugsweise gemeinsam die Gesamtmenge des der Hochdrucksäule entnommenen und nicht verflüssigten stickstoffreichen Fluids.

[0038] Besonders vorteilhaft ist es, wenn im Rahmen der vorliegenden Erfindung die erste und die zweite Teilmenge unter Verwendung des Hauptwärmetauschers auf das erste Temperaturniveau erwärmt werden, und/oder wenn die erste Teilmenge unter Verwendung des Hauptwärmetauschers auf das zweite Temperaturniveau erwärmt wird und/oder wenn die zweite Teilmenge unter Verwendung des Hauptwärmetauschers auf das dritte Temperaturniveau abgekühlt wird. Wie bereits erläutert, kann auf diese Weise das Q-T-Profil und der kF-Wert des Hauptwärmetauschers auf besonders günstige Weise beeinflusst werden.

[0039] Der zur Verdichtung des kalten Stickstoffstroms eingesetzte Booster, also der Kaltbooster, ist in einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung, wie erwähnt, mit einer Entspannungsturbine gekoppelt, stellt also einen Turbinenbooster dar. Hierbei ist es besonders vorteilhaft, wenn in der mit dem Booster gekoppelten Entspannungsturbine ein Teil der dem Rektifikationssäulensystem zugeführten Luft auf das zweite Druckniveau entspannt wird, welcher zuvor unter Verwendung des Hauptluftverdichters auf ein viertes Temperaturniveau abgekühlt wurde und welcher anschließend in die Hochdrucksäule eingespeist wird. Das vierte Temperaturniveau kann dabei bei -170 bis -120 °C, insbesondere bei -160 bis -130 °C, beispielsweise -149 °C, liegen.

[0040] Die Entspannung eines Teils der dem Rektifikationssystem zugeführten Luft in einer Entspannungsturbine zwecks Antreiben des Kaltboosters kann prinzipiell auch auf etwa das Druckniveau der Niederdrucksäule mit anschließender Einführung dieses Stromes in die Niederdrucksäule erfolgen. In bestimmten Fällen kann es außerdem sinnvoll sein, einen weiteren Stickstoffstrom auf dem zweiten Druckniveau der Hochdrucksäule zu entnehmen, auf ein bestimmtes Temperaturniveau im Wärmetauscher anzuwärmen und zwecks Antriebs des Kaltverdichters in einer Entspannungsturbine zu entspannen.

[0041] Alternativ dazu kann der Kaltbooster auch unter Verwendung von externer Energie, also nicht in Form von Energie, die in einem in der Luftzerlegungsanlage bereitgestellten Prozessstrom gespeichert ist, angetrieben werden. Insbesondere kann für den Antrieb des Kaltboosters ein Elektromotor eingesetzt werden.

[0042] Es ist besonders vorteilhaft, wenn die zweite Teilmenge einen Anteil, insbesondere einen normierten Mengenanteil, beispielsweise ausgedrückt in Normkubikmetern pro Stunde, von 0 bis 60%, insbesondere von 10 bis 50%, beispielsweise von 15 bis 35%, des der Hochdrucksäule auf dem zweiten Druckniveau entnommenen und ohne vorherige Verflüssigung in gasförmigem Zustand erwärmten gasförmigen stickstoffreichen Fluids umfasst. Auf diese Weise kann die Kapazität einer

entsprechenden Anlage, wie erwähnt, nahezu vollständig ausgenutzt werden.

[0043] Besonders vorteilhaft ist es, wenn ein Teil der Luft, die dem Rektifikationssäulensystem zugeführt wird, in einem weiteren Booster von dem ersten Druckniveau auf ein fünftes Druckniveau von 20 bis 30 bar, insbesondere von 22 bis 27 bar, beispielsweise 25 bar, verdichtet, unter Verwendung des Hauptwärmetauschers auf ein fünftes Temperaturniveau abgekühlt, in einer mit dem weiteren Booster mechanisch gekoppelten Entspannungsturbine auf das zweite Druckniveau entspannt, und anschließend in die Hochdrucksäule eingespeist wird. Ein derartiges Vorgehen unter Verwendung eines sogenannten warmen Boosters kann dabei grundsätzlich dem Stand der Technik entsprechen und unterstützt die im Rahmen der vorliegenden Erfindung erzielbaren Vorteile.

[0044] Bei einer derartigen Ausgestaltung erweist es sich als besonders vorteilhaft, wenn ein Teil der Luft, die dem Rektifikationssäulensystem zugeführt wird, in dem weiteren Booster von dem ersten Druckniveau auf das fünfte Druckniveau verdichtet, unter Verwendung des Hauptwärmetauschers auf ein sechstes Temperaturniveau, das beispielsweise bei -165 bis -115 °C, insbesondere bei -150 bis -130 °C, beispielsweise -141 °C, liegt, abgekühlt, auf das zweite Druckniveau entspannt, und anschließend in die Hochdrucksäule eingespeist wird. Auch hierdurch lassen sich die im Rahmen der vorliegenden Erfindung erzielbaren Vorteile nochmals vergrößern. Besondere Vorteile werden auch erzielt, wenn ein Teil der Luft, die dem Rektifikationssäulensystem flüssig zugeführt wird, auf dem ersten Druckniveau unter Verwendung des Hauptwärmetauschers abgekühlt, von dem ersten Druckniveau auf das zweite Druckniveau entspannt, und anschließend in die Hochdrucksäule eingespeist wird. Zu den besonderen Vorteilen einer derartigen Ausgestaltung sei auf die obigen Erläuterungen verwiesen.

[0045] Insbesondere umfasst im Rahmen der vorliegenden Erfindung das Rektifikationssäulensystem wenigstens eine Rektifikationssäule, in welche ein gegenüber einer Sumpfflüssigkeit der Hochdrucksäule an Argon angereichertes erstes Fluid aus der Niederdrucksäule überführt wird, und in der das erste Fluid an Argon abgereichert wird. Ein nach der Abreicherung an Argon verbleibender Rest des ersten Fluids wird dabei in Form eines zweiten Fluids in die Niederdrucksäule zurückgeführt. Die vorliegende Erfindung kann dabei grundsätzlich unter Verwendung von bekannten Roh- und ggf. Reinargonsäulen zum Einsatz kommen, es ist jedoch auch eine reine Argonausschleusung ohne Gewinnung eines Argonprodukts unter Verwendung von sogenannten Argonausschleussäulen möglich.

[0046] Der vorteilhafte Effekt der damit erzielten Argonausschleusung aus dem in der Niederdrucksäule getrennten Fluid ist darauf zurückzuführen, dass die Sauerstoff-Argon-Trennung für die ausgeschleuste Argonmenge in der Niederdrucksäule nicht mehr erforderlich

ist. Das Abtrennen des Argons vom Sauerstoff in der Niederdrucksäule selbst ist grundsätzlich aufwendig und verlangt nach einer entsprechenden "Heiz"-Leistung des Hauptkondensators. Wird Argon ausgeschleust und unterbleibt damit die Sauerstoff-Argon-Trennung oder wird diese beispielsweise in eine Rohargonsäule oder Argonausschleussäule verlagert, muss die entsprechende Argonmenge nicht mehr im Sauerstoffabschnitt der Niederdrucksäule abgetrennt werden und die Heizleistung des Hauptkondensators kann reduziert werden. Daher kann, bei gleichbleibender Ausbeute an Sauerstoff, mehr Druckstickstoff aus der Hochdrucksäule entnommen werden, was im Rahmen der vorliegenden Erfindung gerade angestrebt wird.

[0047] In einer herkömmlichen Rohargonsäule kann Rohargon gewonnen und in einer nachgeschalteten Reinargonsäule zu einem Argonprodukt aufbereitet werden. Eine Argonausschleussäule dient hingegen vornehmlich zur Argonausschleusung zu dem oben erläuterten Zweck. Grundsätzlich kann unter einer "Argonausschleussäule" eine Trennsäule zur Argon-Sauerstoff-Trennung verstanden werden, die nicht zur Gewinnung eines reinen Argonprodukts, sondern zur Ausschleusung von Argon der in Hochdrucksäule und Niederdrucksäule zu zerlegenden Luft dient. Ihre Schaltung unterscheidet sich nur wenig von der einer klassischen Rohargonsäule, allerdings enthält sie deutlich weniger theoretische Böden, nämlich weniger als 40, insbesondere zwischen 15 und 30. Wie eine Rohargonsäule ist der Sumpfbereich einer Argonausschleussäule mit einer Zwischenstelle der Niederdrucksäule verbunden und die Argonausschleussäule wird durch einen Kopfkondensator gekühlt, auf dessen Verdampfungsseite typischerweise entspannte Sumpfflüssigkeit aus der Hochdrucksäule eingeleitet wird. Eine Argonausschleussäule weist typischerweise keinen Sumpferdampfer auf.

[0048] Hierbei ist es besonders vorteilhaft, wenn eine Roh- und eine Reinargonsäule eingesetzt werden, die jeweils mit einem Kopfkondensator betrieben werden, in welchen sauerstoffangereicherte Flüssigkeit aus dem Sumpf der Hochdrucksäule, die insbesondere zuvor durch einen Unterkühlungsgegenströmer geführt wird, teilweise verdampft wird. Ein nicht verdampfter Anteil wird dabei jeweils flüssig in die Niederdrucksäule eingespeist. Die Einspeisung des nicht verdampften Anteils aus dem Kopfkondensator der Reinargonsäule erfolgt dabei vorteilhafterweise 5 bis 15 theoretische Trennstufen oberhalb der Einspeisung des nicht verdampften Anteils aus dem Kopfkondensator der Rohargonsäule und letztere nochmals oberhalb der Entnahme des ersten und der Rückspeisung des zweiten Fluids. Auf diese Weise kann eine "argonoptimierte" Trennung erzielt werden, die eine entsprechende Entnahme größerer Menge stickstoffreichen Fluids aus der Hochdrucksäule ermöglicht.

[0049] Die vorliegende Erfindung betrifft ferner eine Anlage zur Gewinnung eines oder mehrerer Luftprodukte, bezüglich deren Merkmalen auf den entsprechenden

unabhängigen Patentanspruch verwiesen wird.

[0050] Zu Merkmalen und Vorteilen der erfindungsgemäß vorgeschlagenen Luftzerlegungsanlage sei auf die obigen Erläuterungen bezüglich des erfindungsgemäß vorgeschlagenen Verfahrens ausdrücklich verwiesen. Entsprechendes gilt auch für eine Luftzerlegungsanlage, die zur Durchführung eines Verfahrens eingerichtet ist, wie es zuvor ausführlich erläutert wurde, und hierzu entsprechende Mittel aufweist.

[0051] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert, die bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung veranschaulichen.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0052]

Figur 1 zeigt eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in schematischer Darstellung.

Figur 2 zeigt eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in schematischer Darstellung.

Figur 3 zeigt eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in schematischer Darstellung.

Figur 4 zeigt eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in schematischer Darstellung.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnung

[0053] In Figur 1 ist eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in vereinfachter, schematischer Darstellung gezeigt und mit 100 bezeichnet.

[0054] In der Luftzerlegungsanlage 100 wird ein Einsatzluftstrom a (AIR) mittels eines Hauptluftverdichters 1 über ein Filter 2 angesaugt und auf ein Druckniveau verdichtet, das hier als erstes Druckniveau bezeichnet wird. Der Hauptluftverdichter 1 kann insbesondere mehrstufig mit Zwischenkühlung ausgebildet sein. Ein dem Hauptluftverdichter 1 zugeordneter Kühler ist stellvertretend für mehrere entsprechender Kühler gezeigt und mit 3 bezeichnet.

[0055] Das in der Luftzerlegungsanlage 100 durchgeführte Luftzerlegungsverfahren ist ein oben erläutertes Hochluftdruck-Verfahren, so dass das erste Druckniveau zumindest 3 bar oberhalb eines Druckniveaus liegt, auf dem eine Hochdrucksäule 14 eines Rektifikationssäulensystems (siehe unten) der Luftzerlegungsanlage 100 betrieben wird, und das hier als zweites Druckniveau bezeichnet wird.

[0056] Die gesamte, dem Rektifikationssäulensystem

zugeführte Luftmenge, die auf das erste Druckniveau verdichtet wird, wird hier als Einsatzluftmenge bezeichnet. Diese Einsatzluftmenge wird in Form des Einsatzluftstroms a zunächst in einer Kühlereinrichtung 4 gekühlt und anschließend in einer Adsorptionseinrichtung 5 zumindest weitgehend von Wasser und Kohlendioxid befreit. Bezüglich der Funktionsweise der Kühlereinrichtung 4 und der Adsorptionseinrichtung 5 sei auf Fachliteratur wie Häring (s.o.) verwiesen. Die Kühlereinrichtung 4 wird in der dargestellten Weise mit Kühlwasser (H₂O) betrieben, die Adsorptionseinrichtung 5 mit Regeneriergas regeneriert, das nach seiner Verwendung an die Atmosphäre (ATM) abgegeben werden kann. Der gekühlte und aufgereinigte Einsatzluftstrom a, der besseren Unterscheidbarkeit halber nun mit b bezeichnet, wird zunächst in zwei Teilströme c und d aufgeteilt.

[0057] Der Teilstrom c wird in einem Booster 6, der mechanisch mit einer Entspannungsturbine 7 gekoppelt ist, auf ein Druckniveau oberhalb des ersten Druckniveaus gebracht und nach Kühlung in einem Nachkühler erneut in zwei Teilströme e und f aufgeteilt, die einem Hauptwärmetauscher 9 der Luftzerlegungsanlage 100 zugeführt werden. Da der Teilstrom e dem Booster 6 bei Umgebungstemperatur oder darüber, jedenfalls aber auf einem Temperaturniveau oberhalb von 0 °C, zugeführt wird, wird er auch als Warmbooster bezeichnet. Der Teilstrom e wird dem Hauptwärmetauscher 9 auf einem Zwischentemperaturniveau entnommen, in der Entspannungsturbine 7 entspannt und in zumindest teilweise gasförmigem Zustand die Hochdrucksäule 14 eingespeist. Der Teilstrom f wird dem Hauptwärmetauscher 9 kaltseitig entnommen und über eine Drossel 10 in flüssigem Zustand in die Hochdrucksäule 14 eingespeist. Bei dem Teilstrom f handelt es sich also um einen ersten Drosselstrom.

[0058] Der Teilstrom c ebenfalls erneut in zwei Teilströme g und h aufgeteilt, die dem Hauptwärmetauscher 9 der Luftzerlegungsanlage 100 zugeführt werden. Der Teilstrom g wird dem Hauptwärmetauscher 9 auf einem Zwischentemperaturniveau entnommen, in einer Entspannungsturbine 11, die mit einem Booster 12 mechanisch gekoppelt ist, entspannt und in zumindest teilweise gasförmigem Zustand die Hochdrucksäule 14 eingespeist. Er wird dabei zuvor mit dem Teilstrom e vereinigt. Da dem Booster 12, wie unten erläutert, Fluid deutlich unter Umgebungstemperatur, jedenfalls aber deutlich unter 0 °C, -10 °C, -20 °C, -30 °C, -40 °C, -50 °C, zugeführt wird, wird er auch als Kaltbooster bezeichnet. Der Teilstrom h wird dem Hauptwärmetauscher 9 kaltseitig entnommen und über eine Drossel 13 in flüssigem Zustand in die Hochdrucksäule 14 eingespeist. Er wird dabei zuvor mit dem Teilstrom f vereinigt oder direkt in die Hochdrucksäule 14 eingespeist. Bei dem Teilstrom h handelt es sich also um einen zweiten Drosselstrom.

[0059] Der Betrieb des Rektifikationssäulensystems, das in der Luftzerlegungsanlage 100 die bereits erwähnte Hochdrucksäule 14, eine Niederdrucksäule 15, eine Rohargonsäule 16 und eine Reinargonsäule 17 umfasst,

kann grundsätzlich der eingangs zitierten Fachliteratur entnommen werden.

[0060] Die Luftzerlegungsanlage 100 ist zur Innenverdichtung eingerichtet. Im dargestellten Beispiel wird hierzu der Niederdrucksäule 15 ein sauerstoffreiches Sumpfprodukt in Form eines Stoffstroms i flüssig entnommen, zu einem Anteil in Form eines Stoffstroms k in einer Innenverdichtungspumpe 18 auf ca. 30 bar(a) oder auf ein höheres, beispielsweise auf ein überkritisches, Druckniveau gebracht, in dem Hauptwärmetauscher 9 verdampft bzw. vom flüssigen in den überkritischen Zustand überführt, und als innenverdichtetes sauerstoffreiches Luftprodukt (GOX IC) an der Anlagengrenze abgegeben. Ein weiterer Anteil des Stoffstroms i wird nicht innenverdichtet, sondern stattdessen in Form eines Stoffstroms l an die Anlagengrenze geführt und dort als flüssiges Sauerstoffprodukt (LOX) abgegeben. Die Temperatur kann dabei durch ein teilweises Führen des Stoffstroms l durch einen Unterkühlungsgegenströmer 19 eingestellt werden.

[0061] Dem Sumpf der Hochdrucksäule 14 kann sauerstoffangereicherte Flüssigkeit in Form eines Stoffstroms m entnommen werden. Der Stoffstrom m kann durch den Unterkühlungsgegenströmer 19 geführt und anschließend anteilig in die jeweiligen Verdampfungsräume der Kopfkondensatoren der Rohargonsäule 16 und der Reinargonsäule 17 eingespeist werden. Diesen Verdampfungsräumen entnommene flüssige und gasförmige Anteile werden in die Niederdrucksäule 15 eingespeist. Die Rohargonsäule 16 und die Reinargonsäule 17 werden in bekannter Weise betrieben. Insbesondere wird der Niederdrucksäule 15 an geeigneter Position ein argonangereichertes Fluid in Form eines Stoffstroms n entnommen und in der Rohargonsäule 16 an Sauerstoff abgereichert, der in die Niederdrucksäule 15 zurückgeführt wird. Stickstoffhaltiges Rohargon wird in Form eines Stoffstroms o in die Reinargonsäule überführt, wo insbesondere Stickstoff abgetrennt und an die Atmosphäre (ATM) abgegeben werden kann. Flüssiges Argon (LAR) kann als Produkt an der Anlagengrenze abgegeben werden.

[0062] Der Niederdrucksäule 15 kann kopfseitig Gas entnommen werden, das in Form eines Stoffstroms p durch den Unterkühlungsgegenströmer 19 und anschließend durch den Hauptwärmetauscher 9 geführt (siehe auch Verknüpfung A) und zum Teil nach einer Erwärmung in einer Heizeinrichtung 20 als das bereits erwähnte Regeneriergas in der Adsorptionseinrichtung 5 eingesetzt werden kann. Auch eine Abführung an die Atmosphäre (ATM), beispielsweise zu Zeiten, in denen kein Regeneriergas benötigt wird, ist grundsätzlich möglich. Von einem Boden in einem oberen Bereich der Niederdrucksäule 15 kann ein flüssiger, stickstoffreicher Stoffstrom q abgezogen und als flüssiges Produkt (LIN) an der Anlagengrenze abgegeben werden.

[0063] Flüssiglufte kann aus der Hochdrucksäule 14 in Form eines Stoffstroms r abgezogen, durch den Unterkühlungsgegenströmer 19 geführt und in die Nieder-

drucksäule 15 eingespeist werden. Vom Kopf der Hochdrucksäule kann stickstoffreiches Gas in Form eines Stoffstroms s abgezogen werden. Dieses kann zu einem Teil in Form eines Stoffstroms t in einem die Hochdrucksäule 14 und die Niederdrucksäule 15 wärmetauschend verbindenden Hauptkondensator 21 verflüssigt und als Rücklauf auf die Hochdrucksäule 14 verwendet sowie durch den Unterkühlungsgegenströmer 19 geführt und in die Niederdrucksäule 15 eingespeist werden.

[0064] Ein wesentlicher Aspekt der vorliegenden Erfindung in der veranschaulichten Ausführungsform besteht in der Behandlung des nicht durch den Hauptkondensator 21 geführten Anteils des Stoffstroms s. Dieser liegt, da er der Hochdrucksäule entnommen wurde, auf deren Druckniveau, dem zweiten Druckniveau, vor, und wird im dargestellten Beispiel in Form eines Stoffstroms u dem Hauptwärmetauscher 9 kaltseitig zugeführt. Ein Teilstrom v wird dem Hauptwärmetauscher 9 warmseitig entnommen und beispielsweise als Dichtgas (Sealgas) bereitgestellt.

[0065] Ein weiterer Teilstrom w wird dem Hauptwärmetauscher 9 auf einem Zwischentemperaturniveau entnommen, das hier als erstes Temperaturniveau bezeichnet wird, und in dem bereits erwähnten Booster 12 auf ein Druckniveau oberhalb des zweiten Druckniveaus gebracht, das hier als drittes Druckniveau bezeichnet wird. Wiederum ein Teilstrom x des Teilstroms w wird wieder dem Hauptwärmetauscher 9 zugeführt, diesem kaltseitig entnommen, also auf ein Temperaturniveau abgekühlt, das hier als drittes Temperaturniveau bezeichnet wird, in flüssigem Zustand über eine Drossel 22 entspannt und in einen oberen Bereich der Hochdrucksäule 14 zurückgeführt. Bei dem Teilstrom x handelt es sich also um einen weiteren Drosselstrom.

[0066] Ein weiterer Teilstrom y des Teilstroms w wird hingegen in dem Hauptwärmetauscher 9 auf ein Temperaturniveau erwärmt, das hier als zweites Temperaturniveau bezeichnet wird, und an der Anlagengrenze als gasförmiges Druckstickstoffprodukt abgegeben.

[0067] Mit anderen Worten werden hier eine erste und eine zweite Teilmenge in Form der Stoffströme y und x eines stickstoffreichen Fluids, das der Hochdrucksäule 15 in Form eines Stoffstroms u auf dem zweiten Druckniveau entnommen und unter Verwendung des Hauptwärmetauschers 9 erwärmt wird, unter Verwendung des Hauptwärmetauschers 9 auf das erste Temperaturniveau erwärmt, auf diesem dem Booster 12 zugeführt, und unter Verwendung des Boosters 12 weiter auf das dritte Druckniveau verdichtet. Die erste Teilmenge, d.h. der Stoffstrom y, wird nach der Verdichtung auf das dritte Druckniveau unter Verwendung des Hauptwärmetauschers 9 auf ein zweites Temperaturniveau oberhalb des ersten Temperaturniveaus erwärmt und dauerhaft aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet. Die zweite Teilmenge, d.h. der Stoffstrom x, wird nach der Verdichtung auf das dritte Druckniveau unter Verwendung des Hauptwärmetauschers 9 auf das dritte Temperaturniveau abgekühlt, auf das zweite Druckniveau entspannt und in

die Hochdrucksäule 15 zurückgeführt.

[0068] Figur 2 zeigt eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung in schematischer Darstellung, wobei auf eine Beschreibung bereits zu Figur 1 erläuterter Komponenten verzichtet wird. Diese sind auch nicht erneut mit Bezugszeichen versehen.

[0069] Wie in Figur 2 veranschaulicht, kann ein Teil des in dem Hauptkondensator 21 verflüssigten stickstoffreichen Gases, vergleichbar mit dem Stoffstrom k gemäß Anlage 100 bzw. Figur 1 (siehe Verknüpfung X in Figur 2), auch mittels einer weiteren Innenverdichtungspumpe 201 verdichtet, in dem Hauptwärmetauscher 9 erwärmt und anschließend als innenverdichtetes, gasförmiges Stickstoffprodukt (GAN IC) bereitgestellt werden.

[0070] Figur 3 zeigt eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung in schematischer Darstellung. Wiederum wurde auf eine Beschreibung bereits zu Figur 1 bzw. 2 erläuterter Komponenten verzichtet. Diese sind auch nicht erneut mit Bezugszeichen versehen.

[0071] Wie in Figur 3 veranschaulicht, kann alternativ anstelle des Teilstroms g, der aus dem Teilstrom c gebildet wird, auch ein weiterer Teilstrom 301 des Teilstroms d der Entspannungsturbine 11 zugeführt werden, der aufgrund der Verdichtung in dem Booster 6 auf einem höheren Druckniveau vorliegt als der Teilstrom c. Der Teilstrom g wird in diesem Fall nicht gebildet.

[0072] Figur 4 zeigt eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung in schematischer Darstellung. Wie zuvor wurde auch hier auf eine Beschreibung bereits zu den vorigen Figuren erläuterter Komponenten verzichtet, die auch hier nicht erneut mit Bezugszeichen versehen sind.

[0073] Wie in Figur 4 dargestellt, kann der Booster 12 auch unter Verwendung von externer Energie angetrieben werden, beispielsweise unter Verwendung eines Elektromotors M. Auf diese Weise kann auf die separate Bereitstellung eines Stoffstroms g (Figur 1) bzw. 301 (Figur 3) verzichtet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Gewinnung eines oder mehrerer Luftprodukte unter Verwendung einer Luftzerlegungsanlage (100) mit einem Rektifikationssäulensystem (14-17), das eine Hochdrucksäule (14) und eine Niederdrucksäule (15) umfasst, sowie mit einem Hauptwärmetauscher (9) und einem Hauptluftverdichter (1), bei dem

- die gesamte, dem Rektifikationssäulensystem (14-17) zugeführte Luft in dem Hauptluftverdichter (1) auf ein erstes Druckniveau verdichtet wird, wobei die Hochdrucksäule (15) auf einem zweiten Druckniveau betrieben wird, das mindestens 3 bar unterhalb des ersten Druck-

niveaus liegt, und

- der Hochdrucksäule (15) auf dem zweiten Druckniveau ein gasförmiges stickstoffreiches Fluid entnommen und ohne eine vorherige Verflüssigung in gasförmigem Zustand erwärmt wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

- eine erste Teilmenge des gasförmigen stickstoffreichen Fluids auf ein erstes Temperaturniveau von -150 bis -100 °C, insbesondere von -140 bis -120 °C erwärmt, auf diesem einem Booster (12) zugeführt, und unter Verwendung des Boosters (12) weiter auf ein drittes Druckniveau verdichtet wird, und

- die erste Teilmenge nach der Verdichtung auf das dritte Druckniveau auf ein zweites Temperaturniveau oberhalb des ersten Temperaturniveaus erwärmt und dauerhaft aus der Luftzerlegungsanlage (100) ausgeleitet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem eine zweite Teilmenge des gasförmigen stickstoffreichen Fluids zusammen mit der ersten Teilmenge auf das erste Temperaturniveau erwärmt, auf diesem dem Booster (12) zugeführt, und unter Verwendung des Boosters (12) weiter auf das dritte Druckniveau verdichtet wird, wobei die zweite Teilmenge nach der Verdichtung auf das dritte Druckniveau auf ein drittes Temperaturniveau unterhalb des ersten Temperaturniveaus abgekühlt, anschließend auf das zweite Druckniveau entspannt, und wieder in die Hochdrucksäule (15) zurückgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem eine dritte Teilmenge des stickstoffreichen Fluids ohne Verdichtung auf das dritte Druckniveau auf das erste Temperaturniveau erwärmt und dauerhaft aus der Luftzerlegungsanlage (100) ausgeleitet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, bei dem die erste und die zweite Teilmenge unter Verwendung des Hauptwärmetauschers (9) auf das erste Temperaturniveau erwärmt werden und/oder die erste Teilmenge unter Verwendung des Hauptwärmetauschers (9) auf das zweite Temperaturniveau erwärmt wird und/oder bei dem die zweite Teilmenge unter Verwendung des Hauptwärmetauschers (9) auf das dritte Temperaturniveau abgekühlt wird.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das dritte Druckniveau bei 8 bis 12 bar liegt.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Booster (12) mechanisch mit einer Entspannungsturbine (11) gekoppelt ist, wobei in der mit dem Booster (12) gekoppelten Entspannungsturbine (11) insbesondere ein Teil der dem Rektifikationssäulensystem (14-17) zugeführten Luft auf das

- zweite Druckniveau entspannt wird, welcher zuvor unter Verwendung des Hauptluftverdichters (9) auf ein viertes Temperaturniveau abgekühlt wurde und anschließend in die Hochdrucksäule (14) eingespeist wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem der Booster (12) unter Verwendung von externer Energie, insbesondere mittels eines Elektromotors (M), angetrieben wird.
8. Verfahren nach Anspruch 2 oder einem der von Anspruch 2 abhängenden Ansprüche, bei dem die zweite Teilmenge einen Anteil von 10 bis 50% des der Hochdrucksäule (15) auf dem zweiten Druckniveau entnommenen und ohne vorherige Verflüssigung in gasförmigem Zustand erwärmten gasförmigen stickstoffreichen Fluids umfasst.
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem ein Teil der Luft, die dem Rektifikationssäulensystem (14-17) zugeführt wird, in einem weiteren Booster (6) von dem ersten Druckniveau auf ein fünftes Druckniveau verdichtet, unter Verwendung des Hauptwärmetauschers (9) auf ein fünftes Temperaturniveau abgekühlt, in einer mit dem weiteren Booster (6) mechanisch gekoppelten Entspannungsturbine (7) auf das zweite Druckniveau entspannt, und anschließend in die Hochdrucksäule (14) eingespeist wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem ein Teil der Luft, die dem Rektifikationssäulensystem (14-17) zugeführt wird, in dem weiteren Booster (6) von dem ersten Druckniveau auf das fünfte Druckniveau verdichtet, unter Verwendung des Hauptwärmetauschers (9) auf ein sechstes Temperaturniveau abgekühlt, auf das zweite Druckniveau entspannt, und anschließend in die Hochdrucksäule (14) eingespeist wird.
11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem ein Teil der Luft, die dem Rektifikationssäulensystem (14-17) zugeführt wird, auf dem ersten Druckniveau unter Verwendung des Hauptwärmetauschers (9) abgekühlt, von dem ersten Druckniveau auf das zweite Druckniveau entspannt, und anschließend in die Hochdrucksäule (14) eingespeist wird.
12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem Rektifikationssäulensystem (14-17) wenigstens eine Rektifikationssäule (16) umfasst, in welche ein gegenüber einer Sumpfflüssigkeit der Hochdrucksäule (15) an Argon angereichertes erstes Fluid aus der Niederdrucksäule (15) überführt wird, und in der das erste Fluid an Argon abgereichert wird, wobei ein nach der Abreicherung an Ar-

gon verbleibender Rest des ersten Fluids in die Niederdrucksäule (15) zurückgeführt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem eine Roh- und eine Reinargonsäule (16, 17) eingesetzt werden, die mit Kopfkondensatoren betrieben werden, in welchen sauerstoffangereicherte Flüssigkeit aus dem Sumpf der Hochdrucksäule (14) teilweise verdampft wird, wobei ein nicht verdampfter Anteil aus dem Kopfkondensator der Reinargonsäule (17) 5 bis 15 theoretische Trennstufen oberhalb der Einspeisung des nicht verdampften Anteils aus dem Kopfkondensator der Rohargonsäule (16) in die Niederdrucksäule (15) zurückgespeist wird.

14. Anlage (100) zur Gewinnung eines oder mehrerer Luftprodukte, mit einem Rektifikationssäulensystem (14-17), das eine Hochdrucksäule (14) und eine Niederdrucksäule (15) umfasst, sowie mit einem Hauptwärmetauscher (9) und einem Hauptluftverdichter, wobei die Anlage (100) Mittel aufweist, die dafür eingerichtet sind,

- die gesamte, dem Rektifikationssäulensystem (14-17) zugeführte Luft in dem Hauptluftverdichter (1) auf ein erstes Druckniveau zu verdichten und die Hochdrucksäule (15) auf einem zweiten Druckniveau zu betreiben, das mindestens 3 bar unterhalb des ersten Druckniveaus liegt, und
- der Hochdrucksäule (15) auf dem zweiten Druckniveau ein gasförmiges stickstoffreiches Fluid zu entnehmen und ohne eine vorherige Verflüssigung in gasförmigem Zustand zu erwärmen,

gekennzeichnet durch Mittel, die dafür eingerichtet sind,

- eine erste Teilmenge des gasförmigen stickstoffreichen Fluids auf ein erstes Temperaturniveau von -150 bis -100 °C, insbesondere von -140 bis -120 °C zu erwärmen, auf diesem einem Booster (12) zuzuführen, und unter Verwendung des Boosters (12) weiter auf ein drittes Druckniveau zu verdichten, und
- die erste Teilmenge nach der Verdichtung auf das dritte Druckniveau auf ein zweites Temperaturniveau oberhalb des ersten Temperaturniveaus zu erwärmen und dauerhaft aus der Luftzerlegungsanlage (100) auszuleiten.

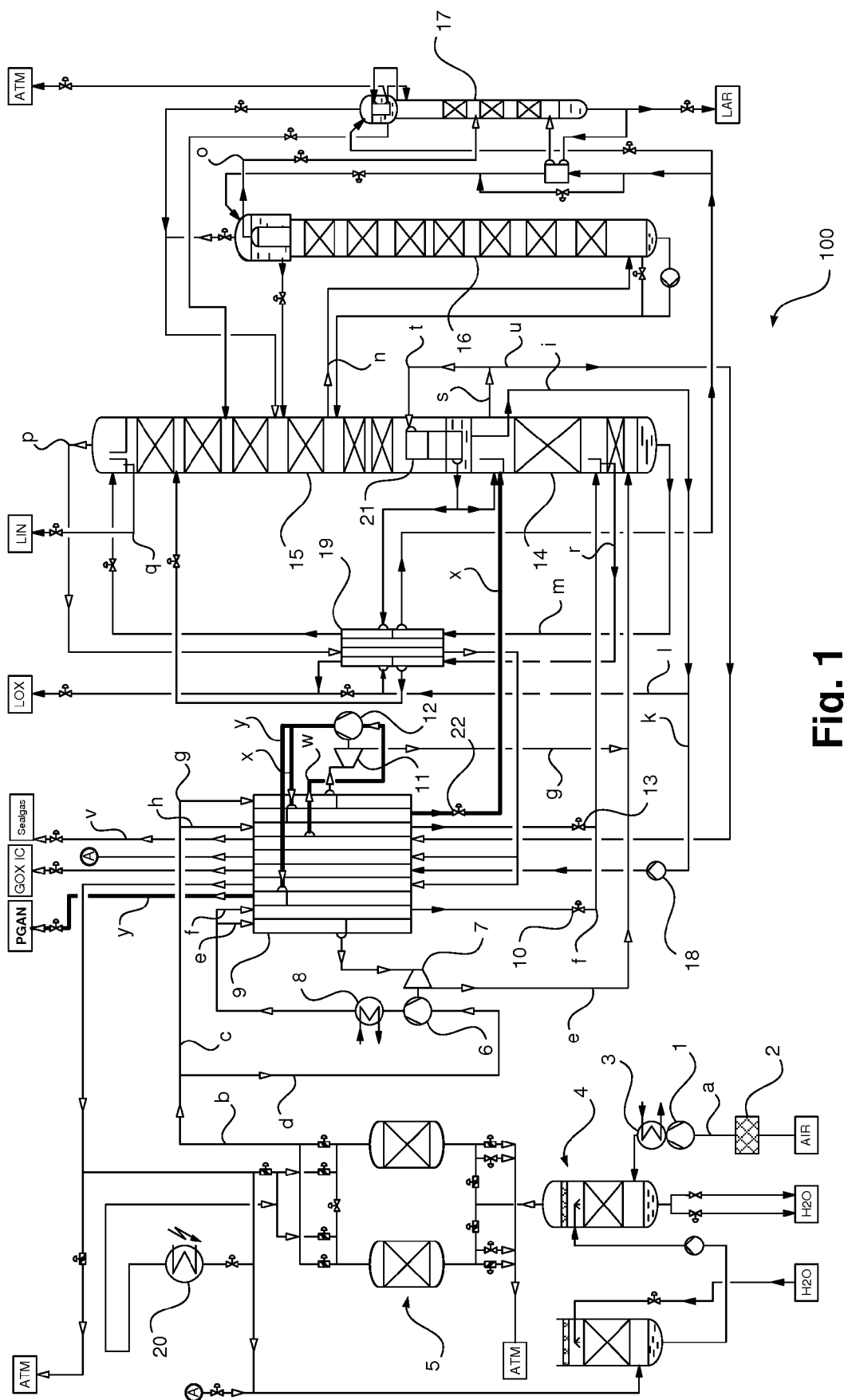


Fig. 1

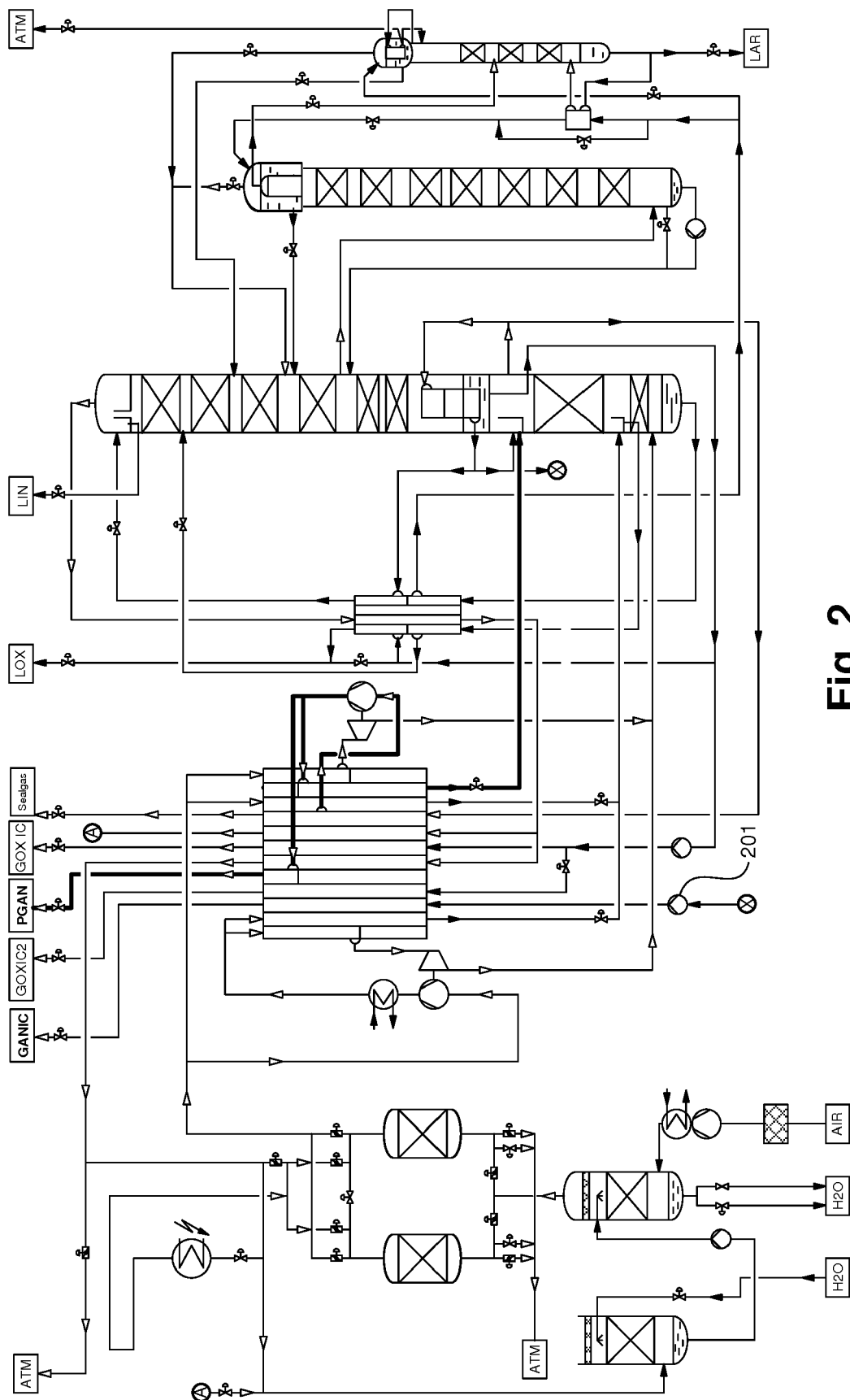


Fig. 2

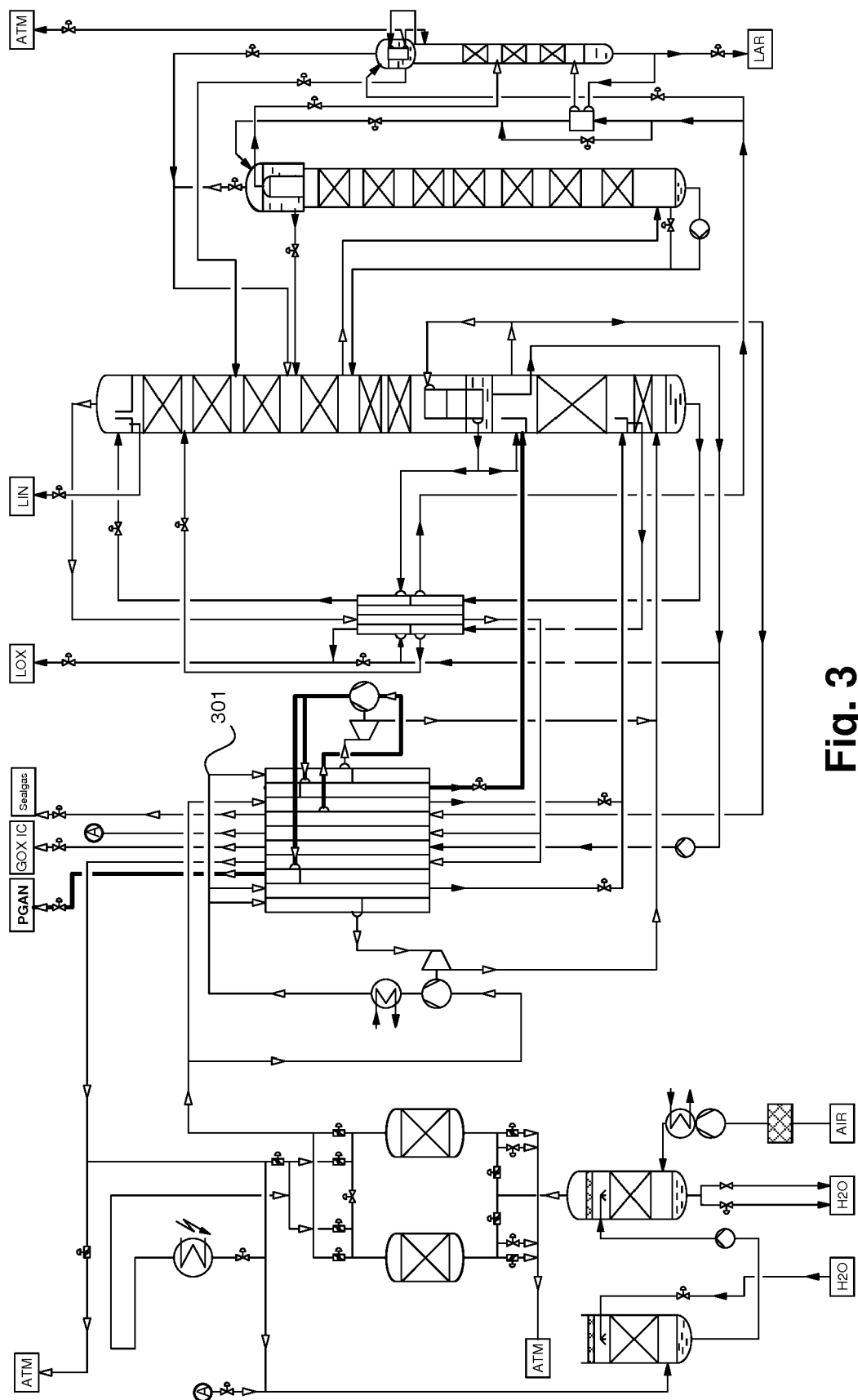


Fig. 3

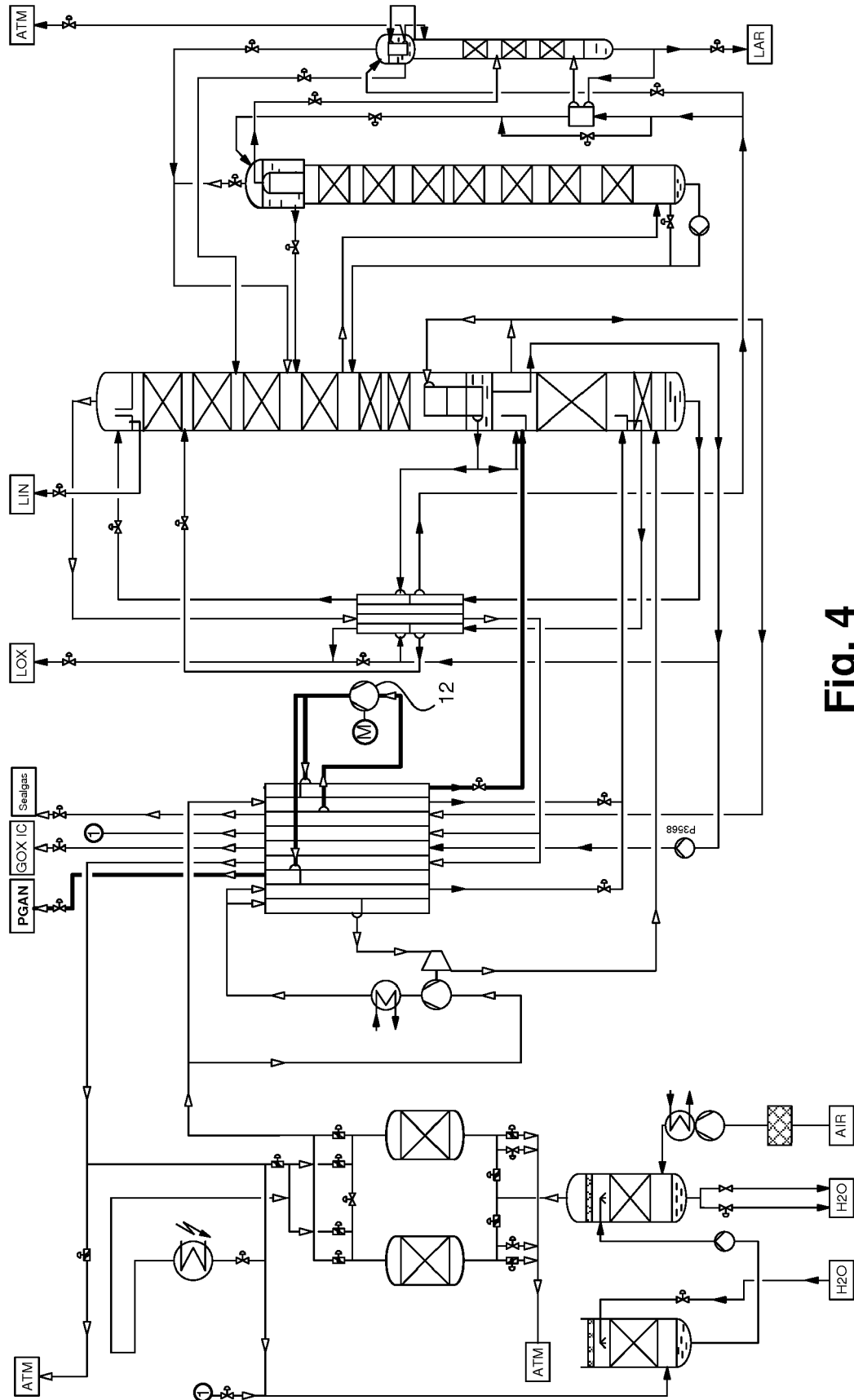


Fig. 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 18 02 0214

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)
A	US 2004/221612 A1 (JAUANI LASAD [FR] ET AL) 11. November 2004 (2004-11-11) * Absatz [0082] - Absatz [0084]; Abbildung 3 *	1-14	INV. F25J3/04
A	US 5 475 980 A (GRENIER MAURICE [US] ET AL) 19. Dezember 1995 (1995-12-19) * Abbildung 5 *	1-14	
A,D	EP 3 101 374 A2 (LINDE AG [DE]) 7. Dezember 2016 (2016-12-07) * Abbildung 1 *	1-14	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F25J
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 28. Juni 2018	Prüfer Schopfer, Georg
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 18 02 0214

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.

28-06-2018

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
15	US 2004221612	A1	11-11-2004	CN	1521121 A	18-08-2004
				EP	1447634 A1	18-08-2004
				FR	2851330 A1	20-08-2004
				US	2004221612 A1	11-11-2004
				US	2006254312 A1	16-11-2006

	US 5475980	A	19-12-1995	KEINE		

20	EP 3101374	A2	07-12-2016	CN	106247758 A	21-12-2016
				EP	3101374 A2	07-12-2016
				US	2016356547 A1	08-12-2016

25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 2980514 A1 [0007]
- EP 2963367 A1 [0007]
- US 20040221612 A1 [0008]
- US 5475980 A [0008]
- EP 3101374 A2 [0021] [0023]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

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