



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
03.02.2021 Patentblatt 2021/05

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

(21) Anmeldenummer: **19020450.3**

(22) Anmeldetag: **01.08.2019**

(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

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

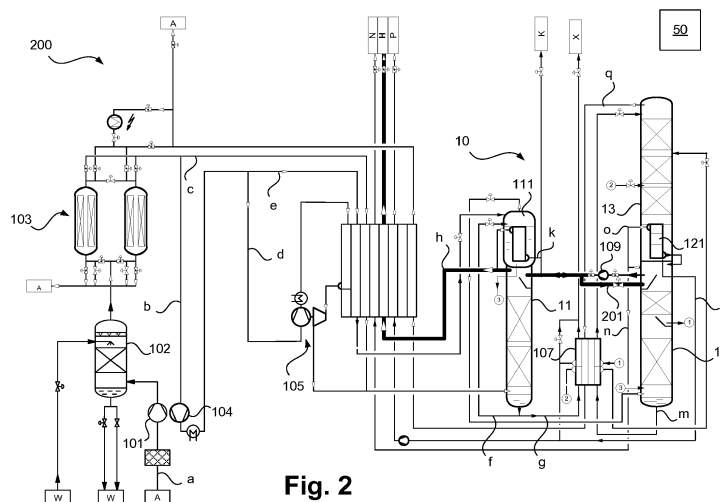
(74) Vertreter: **Imhof, Dietmar**
Linde GmbH
Intellectual Property EMEA
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14
82049 Pullach (DE)

(71) Anmelder: **Linde GmbH**
82049 Pullach (DE)

(54) **VERFAHREN UND ANLAGE ZUR TIEFTEMPATURZERLEGUNG VON LUFT**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft, bei dem eine Luftzerlegungsanlage (100, 200) verwendet wird, die eine erste Kolonne (11), eine zweite Kolonne (12) und eine dritte Kolonne (13) aufweist, wobei die erste Kolonne (11) in einem ersten Druckbereich, die zweite Kolonne (12) in einem zweiten Druckbereich, der unterhalb des ersten Druckbereichs liegt, und die dritte Kolonne (13) in einem dritten Druckbereich, der unterhalb des ersten Druckbereichs und des zweiten Druckbereichs liegt, betrieben wird, wobei die dritte Kolonne (13) mit Sumpfflüssigkeit der ersten Kolonne (11) und Sumpfflüssigkeit der zweiten Kolonne (12) gespeist wird, wobei aus Kopfgas der ersten Kolonne (11) ein erstes Kopfgaskondensat und aus Kopfgas der zweiten Kolonne (12) ein zweites Kopfgaskondensat gebildet wird, und wobei weiteres Kopfgas der ersten Ko-

lonne (11) gasförmig aus der Luftzerlegungsanlage (100, 200) ausgeleitet wird. Es ist vorgesehen, dass das weitere Kopfgas der ersten Kolonne (11), das gasförmig aus der Luftzerlegungsanlage (100, 200) ausgeleitet wird, in einem ersten Betriebsmodus in einer ersten Menge pro Zeiteinheit und in einem zweiten Betriebsmodus in einer zweiten Menge pro Zeiteinheit, die unterhalb der ersten Menge pro Zeiteinheit liegt, aus der Luftzerlegungsanlage (100, 200) ausgeleitet wird, dass in dem ersten Betriebsmodus ein Teil des zweiten Kopfgaskondensats in die erste Kolonne (11) überführt wird, und dass in dem zweiten Betriebsmodus ein Teil des ersten Kopfgaskondensats in die erste Kolonne (11) Kolonne überführt wird. Eine Luftzerlegungsanlage (100, 200) ist ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anlage zur Tieftemperaturzerlegung von Luft 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 Kolonnensysteme auf, die herkömmlicherweise beispielsweise als Zweikolonnensysteme, insbesondere als klassische Linde-Doppelkolonnensysteme, aber auch als Drei- oder Mehrkolonnensysteme ausgebildet sein können. Neben den Kolonnen zur Gewinnung von Stickstoff und/oder Sauerstoff in flüssigem und/oder gasförmigem Zustand, also den Kolonnen zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung, können Kolonnen zur Gewinnung weiterer Luftkomponenten, insbesondere der Edelgase Krypton, Xenon und/oder Argon, vorgesehen sein. Die Begriffe "Rektifikation" und "Destillation" sowie "Kolonne" und "Säule" bzw. zusammengesetzte Begriffe werden synonym verwendet.

[0004] Die Kolonnen der genannten Kolonnensysteme werden auf unterschiedlichen Druckniveaus betrieben. Bekannte Doppelkolonnensysteme weisen eine sogenannte Hochdruckkolonne (auch als Druckkolonne, Mitteldruckkolonne oder untere Kolonne bezeichnet) und eine sogenannte Niederdruckkolonne (auch als obere Kolonne bezeichnet) auf. Die Hochdruckkolonne wird typischerweise auf einem Druckniveau von 4 bis 7 bar, insbesondere ca. 5,3 bar, betrieben. Die Niederdruckkolonne wird auf einem Druckniveau von typischerweise 1 bis 2 bar, insbesondere ca. 1,4 bar, betrieben. In bestimmten Fällen können in beiden Kolonnen auch höhere Druckniveaus eingesetzt werden. Bei den hier und nachfolgend angegebenen Drücken handelt es sich um Absolutdrücke am Kopf der jeweils angegebenen Kolonnen.

[0005] Insbesondere zur Bereitstellung von gasförmigem Stickstoff auf einem deutlich überatmosphärischen Druckniveau bei gleichzeitig großen Produktionsmengen können angepasste Luftzerlegungsanlagen verwendet werden, die neben den zwei erläuterten Kolonnen eine zusätzliche Kolonne aufweisen, welche bei nochmals höherem Druck, beispielsweise bei 8 bis 12 bar, betrieben wird. Gasförmiger Stickstoff kann als Kopfprodukt aus dieser zusätzlichen Kolonne entnommen werden und muss, falls er bei einem entsprechenden Druckniveau benötigt wird, nicht mehr verdichtet werden, so dass kein entsprechender Verdichter zur Verdichtung von gasförmigem Stickstoff vorhanden ist. Die zusätzliche Kolonne wird mit einem Kondensatorverdampfer be-

trieben, der Kopfgas der zusätzlichen Kolonne kondensiert, so dass ein Rücklauf auf die zusätzliche Kolonne bereitgestellt werden kann.

[0006] Die Auslegung von Luftzerlegungsanlagen erfolgt (in der Regel) basierend auf einem sogenannten Designfall mit maximalen Produktmengen. Andere (vorstellbaren) Betriebsfälle werden ausgehend von diesem Fall umgerechnet. Werden in der Luftzerlegungsanlage unterschiedliche Produkte hergestellt, beispielsweise zusätzlich zu dem erwähnten Druckstickstoff innenverdichteter Sauerstoff (zum Begriff der Innenverdichtung siehe unten), ist häufig damit zu rechnen, dass diese Produkte in unterschiedlichen Produktmengen angefordert werden. Eine entsprechende Skalierung der Produktionsmengen ist daher wünschenswert. Beispielsweise umfasst ein gewünschter Betriebsfall die Produktion von 100% (der Maximalmenge des Designfalls) innenverdichtetem Sauerstoff und ca. 75% Druckstickstoff. Es ist aber auch die Einstellung anderer Produktverhältnisse vorstellbar, da der Betrieb der Anlage oft von der Auslegung abweicht.

[0007] Wird Druckstickstoff unter Einsatz einer weiteren Verdichtung bereitgestellt, kann man den verwendeten Verdichter bei geringerer Nachfrage in einem Turn-downmodus betreiben bzw. im Falle einer Teilnachverdichtung ganz abschalten, ohne dass der Rest der Anlage dadurch beeinflusst wird. Bei den erläuterten Luftzerlegungsanlagen mit zusätzlicher Kolonne, in denen kein entsprechender Verdichter vorhanden ist, ist diese Möglichkeit zur Regelung nicht vorhanden.

[0008] Die vorliegende Erfindung stellt sich daher die Aufgabe, Lösungen zu finden, mittels welcher auch in den erläuterten Luftzerlegungsanlagen mit zusätzlicher Kolonne ein flexibler Betrieb gewährleistet werden kann.

Offenbarung der Erfindung

[0009] Vor diesem Hintergrund schlägt die vorliegende Erfindung ein Verfahren und eine Anlage zur Tieftemperaturzerlegung von Luft mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vor. Bevorzugte Ausgestaltungen sind jeweils Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0010] Vor der Erläuterung der Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden einige Grundlagen der vorliegenden Erfindung näher erläutert und nachfolgend verwendete Begriffe definiert.

[0011] Die in einer Luftzerlegungsanlage eingesetzten Vorrichtungen sind in der zitierten Fachliteratur, beispielsweise bei Häring (s.o.) in Abschnitt 2.2.5.6, "Apparatus", beschrieben. Sofern die nachfolgenden Definitionen nicht hiervon abweichen, wird daher zum Sprachgebrauch, der im Rahmen der vorliegenden Anmeldung verwendet wird, ausdrücklich auf die zitierte Fachliteratur verwiesen.

[0012] Flüssigkeiten und Gase können im hier verwendeten Sprachgebrauch reich oder arm an einer oder an mehreren Komponenten sein, wobei "reich" für einen Ge-

halt 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 Definition von "reich" entsprechen. Flüssigkeiten und Gase können ferner angereichert oder abgereichert an einer oder mehreren Komponenten sein, wobei sich diese Begriffe auf einen Gehalt in einer Ausgangsflüssigkeit oder einem Ausgangsgas beziehen, aus der oder dem die Flüssigkeit oder das Gas gewonnen wurde. Die Flüssigkeit oder das Gas sei "angereichert", wenn diese oder dieses zumindest den 1,1-fachen, 1,5-fachen, 2-fachen, 5-fachen, 10-fachen 100-fachen oder 1.000-fachen Gehalt, und "abgereichert", wenn diese oder dieses höchstens den 0,9-fachen, 0,5-fachen, 0,1-fachen, 0,01-fachen oder 0,001-fachen Gehalt einer entsprechenden Komponente, bezogen auf die Ausgangsflüssigkeit oder das Ausgangsgas, enthält. Ist hier beispielsweise von "Sauerstoff", "Stickstoff" oder "Argon" die Rede, sei hierunter auch eine Flüssigkeit oder ein Gas verstanden, die bzw. das reich an Sauerstoff oder Stickstoff ist, jedoch nicht notwendigerweise ausschließlich hieraus bestehen muss.

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

[0014] Ist hier von "Entspannungsmaschinen" die Rede, seien darunter typischerweise bekannte Turboexpander (kurz auch als "Turbinen" bezeichnet) verstanden. Diese Entspannungsmaschinen können insbesondere auch mit Verdichtern gekoppelt sein. Bei diesen Verdichtern kann es sich insbesondere um Turboverdichter handeln. Eine entsprechende Kombination aus Turboexpander und Turboverdichter wird typischerweise auch als "Turbinenbooster" bezeichnet. In einem Turbinenbooster sind der Turboexpander und der Turboverdichter mechanisch gekoppelt, wobei die Kopplung drehzahlgleich (beispielsweise über eine gemeinsame Welle) oder drehzahlunterschiedlich (beispielsweise über ein geeignetes übersetzendes Getriebe) erfolgen kann. Allgemein wird hier der Begriff "Verdichter" verwendet.

[0015] Ein "Hauptluftverdichter" zeichnet sich dadurch aus, dass durch ihn die gesamte, der Luftzerlegungsan-

lage zugeführte und dort zerlegte Luft verdichtet wird. Hingegen wird in einem oder mehreren optional vorgesehenen weiteren Verdichtern, beispielsweise Nachverdichtern, nur jeweils ein Anteil dieser bereits zuvor im Hauptluftverdichter verdichteten Luft weiter verdichtet. Entsprechend stellt der "Hauptwärmetauscher" einer Luftzerlegungsanlage den Wärmetauscher dar, in dem zumindest der überwiegende Anteil der der Luftzerlegungsanlage zugeführten und dort zerlegten Luft abgekühlt wird. Dies erfolgt zumindest zum Teil im Gegenstrom zu Stoffströmen, die aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet werden. Solche "ausgeleiteten" Stoffströme oder auch "Produkte" sind im hier verwendeten Sprachgebrauch Fluide, die nicht mehr an anlageninternen Kreisläufen teilnehmen, sondern diesen dauerhaft entzogen werden.

[0016] Ein "Wärmetauscher" zum Einsatz im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann in fachüblicher Art ausgebildet sein. Er dient zur indirekten Übertragung von Wärme zwischen zumindest zwei z.B. im Gegenstrom zueinander geführten Fluidströmen, beispielsweise einem warmen Druckluftstrom und einem oder mehreren kalten Fluidströmen oder einem tiefkalten flüssigen Luftprodukt und einem oder mehreren warmen bzw. wärmeren, ggf. aber auch noch tiefkalten Fluidströmen. Ein Wärmetauscher kann aus einem einzelnen oder mehreren parallel und/oder seriell verbundenen Wärmetauscherabschnitten gebildet sein, z.B. aus einem oder mehreren Plattenwärmetauscherblöcken. Es handelt sich beispielsweise um einen Plattenwärmetauscher (engl. Plate Fin Heat Exchanger). Ein derartiger Wärmetauscher weist "Passagen" auf, die als voneinander getrennte Fluidkanäle mit Wärmeaustauschflächen ausgebildet und parallel und, insbesondere durch andere Passagen getrennt, zu "Passagengruppen" zusammengeschlossen sind. Kennzeichen eines Wärmetauschers ist, dass in ihm zu einem Zeitpunkt Wärme zwischen zwei mobilen Medien ausgetauscht wird, nämlich wenigstens einem abzukühlenden und wenigstens einem zu erwärmenden Fluidstrom.

[0017] Als "Kondensatorverdampfer" wird ein Wärmetauscher bezeichnet, in dem ein erster, kondensierender Fluidstrom in indirekten Wärmeaustausch mit einem zweiten, verdampfenden Fluidstrom tritt. Jeder Kondensatorverdampfer weist einen Verflüssigungsraum und einen Verdampfungsraum auf. Verflüssigungs- und Verdampfungsraum weisen Verflüssigungs- bzw. Verdampfungspassagen auf. In dem Verflüssigungsraum wird die Kondensation (Verflüssigung) des ersten Fluidstroms durchgeführt, in dem Verdampfungsraum die Verdampfung des zweiten Fluidstroms. Der Verdampfungs- und der Verflüssigungsraum werden durch Gruppen von Passagen gebildet, die untereinander in Wärmeaustauschbeziehung stehen.

[0018] Die relativen räumlichen Begriffe "oben", "unten", "über", "unter", "oberhalb", "unterhalb", "neben", "nebeneinander", "vertikal", "horizontal" etc. beziehen sich hier auf die räumliche Ausrichtung der Rektifikati-

onskolonnen einer Luftzerlegungsanlage oder anderer Komponenten im Normalbetrieb. Unter einer Anordnung zweier Komponenten "übereinander" wird hier verstanden, dass das obere Ende der unteren der beiden Komponenten auf niedrigerer oder gleicher geodätischer Höhe befindet wie das untere Ende der oberen der beiden Komponenten und sich die Projektionen der beiden Apparateile in einer horizontalen Ebene überschneiden. Insbesondere sind die beiden Komponenten genau übereinander angeordnet, das heißt die Achsen der beiden Komponenten verlaufen auf derselben vertikalen Geraden. Die Achsen der beiden Komponenten müssen jedoch nicht genau senkrecht übereinander liegen, sondern können auch gegeneinander versetzt sein, insbesondere wenn einer der beiden Komponenten, beispielsweise eine Rektifikationskolonne oder ein Kolonnenteil mit geringerem Durchmesser, denselben Abstand zum Blechmantel einer Coldbox aufweisen soll wie ein anderer mit größerem Durchmesser.

Vorteile der Erfindung

[0019] Die vorliegende Erfindung schlägt insgesamt ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft vor, bei dem eine Luftzerlegungsanlage mit einem Kolonnensystem verwendet wird, das eine erste Kolonne, eine zweite Kolonne und eine dritte Kolonne aufweist.

[0020] Die erste bis dritte Kolonne gehen in der erfindungsgemäßen Luftzerlegungsanlage aus der Erweiterung eines klassischen, aus dem Stand der Technik bekannten Doppelkolonnensystems um eine zusätzliche, auf einem höheren Druck als die herkömmlicherweise vorhandene Hochdruckkolonne betriebene Kolonne hervor.

[0021] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann, wie auch unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen noch näher erläutert, die erste Kolonne insbesondere baulich separat zur zweiten und dritten Kolonne bereitgestellt sein, wobei die zweite und die dritte Kolonne insbesondere Teil einer Doppelkolonne sein können und mittels eines entsprechenden Kondensatorverdampfers, dem sogenannten Hauptkondensator, in wärmetauschender Verbindung miteinander stehen können. Es können jedoch auch abweichende Anordnungen hiervon getroffen werden; die vorliegende Erfindung ist durch die soeben vorgenommenen Erläuterungen nicht beschränkt.

[0022] Insbesondere können die zweite und die dritte Kolonne, die als Teil einer Doppelkolonne ausgebildet sind, in einem entsprechenden Mehrfachkolonnensystem auch um eine zusätzliche Kolonne ergänzt werden, oder die zweite und die dritte Kolonne können als separate Kolonnen bereitgestellt werden. Der erwähnte Hauptkondensator kann als innenliegender oder als außenliegender Hauptkondensator bereitgestellt werden, wie grundsätzlich aus dem Stand der Technik bekannt. Bei Einsatz eines innenliegenden Hauptkondensators ist dieser zumindest teilweise in einer Sumpfflüssigkeit im

Sumpf der dritten Kolonne untergetaucht und ein zu kondensierendes Kopfgas aus der zweiten Kolonne wird durch einen Kondensationsraum des Hauptkondensators geführt.

[0023] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung können weitere Kolonnen zusätzlich zur ersten bis dritten Kolonne vorhanden sein. So kann eine vierte Kolonne bereitgestellt werden, die insbesondere zur Argongewinnung bzw. Argonausschleusung aus einem Gasgemisch, das aus der dritten Kolonne entnommen wird, dienen kann. Die vierte Kolonne kann insbesondere eine herkömmlich Rohargonkolonne einer bekannten Anordnung mit Roh- und Reinargonkolonne sein, es kann sich jedoch auch um eine modifizierte Argonkolonne handeln, der ohne Verwendung einer zusätzlichen Reinargonkolonne Argon in reinem Zustand unterhalb des Kopfs entnommen wird. Auch andere Varianten sind im Rahmen der vorliegenden Erfindung möglich. Entsprechende Ausgestaltungen sind in Kombination mit sämtlichen Ausgestaltungen der Erfindung, die weiter unten angegeben sind, möglich, werden jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht wiederholt erläutert.

[0024] Wie ebenfalls insoweit aus dem Bereich der Luftzerlegung bekannt und üblich, werden in der ersten Kolonne, in der zweiten Kolonne und in der dritten Kolonne jeweils eine Sumpfflüssigkeit gebildet. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird die Sumpfflüssigkeit der zweiten Kolonne insbesondere mit einem höheren Sauerstoffgehalt als die Sumpfflüssigkeit der ersten Kolonne gebildet und die Sumpfflüssigkeit der dritten Kolonne wird mit einem höheren Sauerstoffgehalt als die Sumpfflüssigkeit der zweiten Kolonne gebildet. Insbesondere kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung der Sauerstoffgehalt der Sumpfflüssigkeit der ersten Kolonne bei 30 bis 40%, insbesondere bei ca. 36% und der Sauerstoffgehalt der Sumpfflüssigkeit der zweiten Kolonne bei ca. 40 bis 60%, insbesondere bei ca. 47%, liegen. Der Sauerstoffgehalt der Sumpfflüssigkeit der dritten Kolonne kann insbesondere bei 90 bis 99,9 mol-%, insbesondere bei ca. 95 mol-%, liegen.

[0025] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird die erste Kolonne in einem ersten Druckbereich betrieben, die zweite Kolonne wird in einem zweiten Druckbereich unterhalb des ersten Druckbereichs betrieben und die dritte Kolonne wird in einem dritten Druckbereich unterhalb des zweiten (und damit auch des ersten) Druckbereichs betrieben. Der erste Druckbereich kann insbesondere bei 8 bis 12 bar, beispielsweise bei ca. 9,0 bar, liegen. Dies kann auch der Produktdruck des im Rahmen der vorliegenden Erfindung bereitgestellten Druckstickstoffs sein. Der zweite Druckbereich liegt im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorteilhafterweise bei 4 bis 6 bar, insbesondere bei ca. 5,5 bar und der dritte Druckbereich liegt vorteilhafterweise bei 1 bis 2 bar, insbesondere bei ca. 1,4 bar. Wie erwähnt, bezeichnen die Druckangaben hier jeweils Absolutdrücke am Kopf entsprechender Kolonnen. Die zweite und dritte Kolonne werden damit im Rahmen der vorliegenden Erfindung, wie bereits zuvor

erwähnt, in Druckbereichen betrieben, in denen auch die herkömmlicherweise in Luftzerlegungsanlagen eingesetzten Hoch- und Niederdruckkolonnen betrieben werden. Die erste Kolonne wird hingegen in einem höheren Druckbereich betrieben.

[0026] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird die dritte Kolonne mit Sumpfflüssigkeit der ersten Kolonne und Sumpfflüssigkeit der zweiten Kolonne gespeist. Es kann sich insbesondere im Fall der Sumpfflüssigkeit der ersten Kolonne um einen Anteil der Sumpfflüssigkeit handeln, der der ersten Kolonne insgesamt entnommen wird. Die Sumpfflüssigkeit der zweiten Kolonne kann insbesondere vollständig in die dritte Kolonne überführt werden. Die in die dritte Kolonne überführten Sumpfflüssigkeiten werden dabei zuvor insbesondere unterkühlt, wie auch unten erläutert.

[0027] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird aus Kopfgas der ersten Kolonne ein erstes Kopfgaskondensat und aus Kopfgas der zweiten Kolonne ein zweites Kopfgaskondensat gebildet, und weiteres Kopfgas der ersten Kolonne wird gasförmig aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet. Bei letzterem handelt es sich um den eingangs erwähnten, insbesondere nicht weiter nachverdichteten Druckstickstoff. Wie erwähnt, adressiert die vorliegende Erfindung insbesondere das Problem, dass kein entsprechender Verdichter vorhanden und regelbar ist. Dieser Druckstickstoff weist insbesondere einen Stickstoffgehalt von 95 bis 99,9999 mol-% auf.

[0028] Neben dem Fehlen eines Stickstoff-Produktverdichters kann sich die erfindungsgemäß eingesetzte Luftzerlegungsanlage insbesondere durch die insbesondere in baulicher Hinsicht besonders vorteilhafte Verwendung eines sogenannten Kombiverdichters auszeichnen. Dieser Vorteil ergibt sich insbesondere dann, wenn moderate Sauerstoff-Produktdrucke von beispielsweise 6 bis 9 bar in der Innenverdichtung verwendet werden und daher auch der entsprechende Drosselstrom im Hauptwärmetauscher nicht übermäßig stark, d.h. nur auf beispielsweise 15 bis 21 bar, verdichtet werden muss. Daher wird für einen Nachverdichter (Booster Air Compressor, BAC) nur eine Verdichterstufe benötigt und diese kann besonders vorteilhaft mit dem Hauptluftverdichter kombiniert werden. Beispielsweise kann auf diese Weise eine ausgesprochen kostengünstige Ausführung mit insgesamt fünf Verdichterstufen (vier Stufen für den Hauptluftverdichter, MAC, und eine Stufe für den BAC zur Verdichtung von Drosselstrom und Turbinenstrom) in einer Maschine gewählt werden.

[0029] Ferner ist in der eingesetzten Luftzerlegungsanlage aufgrund des Betriebs der "warmen" Anlagenteile bei ca. 9 bar eine Ausführung ohne Vorkühlung der Luft vom Eintritt in den Molsiebadsorber möglich. Aufgrund des relativ hohen Prozessdrucks von ca. 9 bar weist dieser Luftstrom relativ wenig Wasser auf und eine zusätzliche Luftvorkühlung (z.B. mittels eines Prozessluftkühlers in Kombination mit einem Verdunstungskühler oder einer Kältemaschine etc.) ist nicht zwingend notwendig. In den beigefügten Zeichnungen ist zwar ein Prozess-

luftkühler stromabwärts dem Hauptluftverdichters gezeigt; dieser kann aber in vielen Fällen durch einen einfachen Nachkühler ersetzt werden.

[0030] Auf Flüssigtransferpumpen kann in dem Prozess weitgehend verzichtet werden. In dem vorgeschlagenen Prozess existieren vorteilhafterweise keine Transferpumpen für kryogene Flüssigkeiten, d.h. alle Flüssigströme werden mithilfe von (eigenen) Prozessdrücken in die anderen Druckräume gespeist. Die eingesetzte Rücklaufpumpe für Flüssigstickstoff ist dabei keine Transfer- sondern eher eine Prozesspumpe (die Flüssigkeit wird bewusst auf deutlich höheren Druck gepumpt, da der Drücke in beiden Kolonnen sehr unterschiedlich sind).

[0031] Erfindungsgemäß wird das weitere Kopfgas der ersten Kolonne, das gasförmig aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet wird, also entsprechender Druckstickstoff, in einem ersten Betriebsmodus in einer ersten Menge pro Zeiteinheit und in einem zweiten Betriebsmodus in einer zweiten Menge pro Zeiteinheit, die unterhalb der ersten Menge pro Zeiteinheit liegt, aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet. In dem ersten Betriebsmodus wird ferner ein Teil des zweiten Kopfgaskondensats in die erste Kolonne überführt, und in dem zweiten Betriebsmodus wird ein Teil des ersten Kopfgaskondensats in die erste Kolonne überführt wird.

[0032] Wie eingangs erläutert, erfolgt die Auslegung einer Luftzerlegungsanlage für den sogenannten Designfall, d.h. die Optimierung der Trennstufenzahl in den Kolonnen sowie die einzustellende Reinheit am Kopf insbesondere der zweiten Kolonne richten sich nach dem Betriebsfall mit maximalen Produktionsmengen. Die Rücklaufflüssigkeit auf die erste Kolonne bzw. der Teil des Kopfgases, der zur Bereitstellung des ersten Kopfgaskondensats verwendet wird, steht dabei im (bzw. liegt sehr nahe am) thermodynamischen Gleichgewicht mit dem vom gleichen Trennboden abzuführenden Druckprodukt, also dem weiteren Kopfgas, das gasförmig aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet wird. Wird weniger an entsprechendem Druckprodukt gefordert, ist es zu erwarten, dass die Energieaufnahme der Anlage ebenfalls reduziert wird. Dies konnte jedoch in der herkömmlichen Prozessausführung nicht bestätigt werden. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann jedoch ein derartiger Vorteil erzielt werden.

[0033] Die erfindungsgemäß vorgeschlagenen Maßnahmen umfassen, dass sich die beiden, unter relativ hohen Drücken arbeitenden Kolonnen (nämlich die erste und zweite Kolonne) die Kopfgaskondensate je nach geforderter Produktmenge an Druckstickstoff optimal miteinander teilen (nämlich indem, wie bereits zuvor erläutert, in dem ersten Betriebsmodus bei höherer Druckstickstoffnachfrage ein Teil des zweiten Kopfgaskondensats in die erste Kolonne überführt wird und in dem zweiten Betriebsmodus bei geringerer Druckstickstoffnachfrage ein Teil des ersten Kopfgaskondensats in die erste Kolonne überführt wird).

[0034] Die erfindungsgemäß vorgeschlagenen

Maßnahmen entfalten ihre Vorteile auch deshalb, weil die Sauerstoffausbeute in einer entsprechenden Anlage im Designfall gut, aber nicht notwendigerweise "ideal" ist (der Luftfaktor liegt bei ca. 5,0, wobei unter dem "Luftfaktor" das Verhältnis der Menge des Sauerstoffprodukts zur Einsatzluftmenge, ausgedrückt in Mol- oder Masseanteilen, zu verstehen ist). Daher soll es durch eine Reduktion der Druckstickstoffmenge möglich sein, auch die Menge der Einsatzluft zu reduzieren. Die Einsatzluftmenge liegt im Rahmen der vorliegenden Erfindung in dem ersten Betriebsmodus vorteilhafter beim 1,03- bis 1,2-fachen wie in dem zweiten Betriebsmodus.

Wird die am Kopf der ersten Rektifikationskolonne zu entnehmende Kopfgasmenge in dem zweiten Betriebsmodus reduziert, sollte auch der Flüssigrücklauf in dieser Kolonne reduziert werden, da ansonsten das optimale Rücklaufverhältnis (F/D ca. 0,6) verschoben wird. Die Menge kann dabei derart reduziert werden, dass das überschüssige "erste" Kopfgaskondensat aus der ersten Kolonne in die zweite Kolonne eingeleitet wird. Die vorliegende Erfindung umfasst insbesondere eine Umschaltung zwischen den Förderrichtungen.

[0035] Die Reduzierung der Fördermenge des zweiten Kopfgaskondensats in die erste Kolonne bzw. die Einleitung von erstem Kopfgaskondensat in die zweite Kolonne führt zu einer starken Erhöhung des F/D -(F =Flüssigkeit/ D =Dampf-)Verhältnisses in dieser zweiten Kolonne bei einer rechnerisch gleichen Reinheit am Kopf. Wird die Reinheit am Kopf der zweiten Kolonne dagegen so angepasst, dass das F/D -Verhältnis für die in der zweiten Kolonne "installierte" Anzahl von Trennböden nahe am Optimum liegt, kann eine höhere Menge an Flüssigkeit aus der zweiten Kolonne in die dritte Kolonne überführt werden, so dass auch das F/D -Verhältnis in einem Abschnitt der dritten Kolonne verbessert (erhöht) werden kann. Auf diese Weise kann in der dritten Kolonne Sauerstoff besser ausgewaschen werden und die Sauerstoffausbeute wird spürbar erhöht. Hierzu müssen genügend Trennstufen vorgesehen sein.

[0036] Vorteilhafterweise wird in dem ersten Betriebsmodus kein Teil des ersten Kopfgaskondensats in die zweite Kolonne überführt und in dem zweiten Betriebsmodus wird kein Teil des zweiten Kopfgaskondensats in die erste Kolonne überführt. Es ist aber auch möglich, sowohl in dem ersten als auch in dem zweiten Betriebsmodus einen Teil des ersten Kopfgaskondensats in die zweite Kolonne überführen, wobei in diesem Fall aber in dem ersten Betriebsmodus eine deutlich geringere Menge in die zweite Kolonne überführt wird. Diese geringere Menge kann beispielsweise bei weniger als 10% der Menge im zweiten Betriebsmodus liegen. Alternativ oder zusätzlich kann aber auch sowohl in dem ersten als auch in dem zweiten Betriebsmodus ein Teil des zweiten Kopfgaskondensats in die erste Kolonne überführt werden, wobei auch in diesem Fall, vergleichbar wie zuvor, in dem zweiten Betriebsmodus eine deutlich geringere Menge in die erste Kolonne überführt wird. Diese geringere Menge kann auch hier beispielsweise bei weniger

als 10% der Menge im ersten Betriebsmodus liegen. Ferner kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere eine Menge des in dem ersten Betriebsmodus in die erste Kolonne überführten zweiten Kopfgaskondensats und eine Menge des in dem zweiten Betriebsmodus in die zweite Kolonne überführten ersten Kopfgaskondensats dynamisch an die Menge des weiteren Kopfgases aus der ersten Kolonne, das gasförmig aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet wird, angepasst werden. Der erste und der zweite Betriebsmodus müssen also nicht statisch sein. Insbesondere können dynamische Übergangszustände zwischen dem ersten und dem zweiten Betriebsmodus vorgesehen sein.

[0037] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann die erste Menge pro Zeiteinheit insbesondere beim 1,1-fachen bis 2-fachen der zweiten Menge pro Zeiteinheit liegen. In einem Beispielfall kann die erste Menge pro Zeiteinheit beispielsweise beim ca. 1,4-fachen der zweiten Menge pro Zeiteinheit liegen. In einem konkreteren Beispiel kann die erste Menge pro Zeiteinheit bei ca. 15.000 Normkubikmetern pro Stunde (Nm^3/h) und die zweite Menge pro Zeiteinheit bei ca. 11.000 Nm^3/h liegen.

[0038] In dem erfindungsgemäßen Verfahren kann der Teil des zweiten Kopfgaskondensats, der in dem ersten Betriebsmodus in die erste Kolonne überführt wird, in diesem ersten Betriebsmodus in einer Menge pro Zeiteinheit in die erste Kolonne überführt werden, die beim z.B. 1,5-fachen bis 10-fachen einer Menge pro Zeiteinheit liegt, in der der Teil des ersten Kopfgaskondensats in dem zweiten Betriebsmodus in die erste Kolonne überführt wird. In dem erläuterten Beispielfall kann dieser Wert beispielsweise beim 2,7-fachen liegen, im konkreteren Beispiel werden ca. 2.000 Nm^3/h zweites Kopfgaskondensat in dem ersten Betriebsmodus in die erste Kolonne überführt und in dem zweiten Betriebsmodus ca. 750 Nm^3/h erstes Kopfgaskondensat in die zweite.

[0039] Das erste Kopfgaskondensat kann insbesondere in einem ersten Kondensatorverdampfer gebildet werden, mittels dessen weitere Sumpfflüssigkeit der ersten Kolonne und/oder verflüssigte Druckluft verdampft werden. Dieser erste Kondensatorverdampfer kann insbesondere als Kopfkondensator auf die erste Kolonne eingesetzt werden. Ein Verdampfungsdruck in dem ersten Kopfkondensator kann insbesondere zwischen dem ersten und dem zweiten Druckbereich liegen, ein Kondensationsdruck liegt insbesondere im ersten Druckbereich.

[0040] Durch das Verdampfen in dem ersten Kondensatorverdampfer gebildetes Gas und/oder bei dem Verdampfen verbleibende Flüssigkeit kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung in die zweite Kolonne eingespeist werden. Ebenso ist es möglich, das zweite Kopfgaskondensat in einem weiteren Kondensatorverdampfer zu bilden, mittels dessen Sumpfflüssigkeit der dritten Kolonne verdampft wird. Dieser weitere Kondensatorverdampfer kann insbesondere analog zu einem herkömmlichen Hauptkondensator in einer Doppelsäule einer Luft-

zerlegungsanlage und als innenliegender, insbesondere mehrstufiger Badverdampfer ausgebildet sein.

[0041] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird ferner ein innenverdichtetes Sauerstoffprodukt bereitgestellt. Insbesondere wird dabei Sumpfflüssigkeit der dritten Kolonne flüssig einer Druckerhöhung auf einen Produktdruck unterworfen, auf dem Produktdruck in gasförmigen oder überkritischen Zustand überführt, und im gasförmigen oder überkritischen Zustand aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet. Der Produktdruck kann in betrachteten Fall insbesondere bei 6 bis 8 bar, insbesondere ca. 7 bar, liegen. Eine Produktionsmenge des innenverdichteten Sauerstoffprodukts ist dabei insbesondere in dem ersten und zweiten Betriebsmodus gleich oder unterscheidet sich um nicht mehr als beispielsweise ca. 5%.

[0042] In dem erfindungsgemäßen Verfahren wird das erste Kopfgaskondensat vorteilhafterweise mit einem Gehalt von 1 bis 3 mol-ppm Sauerstoff, insbesondere ca. 1,9 mol-ppm Sauerstoff, gebildet. Das zweite Kopfgaskondensat wird in dem ersten Betriebsmodus vorteilhafterweise mit einem Gehalt von 2 bis 5 mol-ppm Sauerstoff, insbesondere ca. 4,3 mol-ppm Sauerstoff gebildet, und das zweite Kopfgaskondensat wird in dem zweiten Betriebsmodus vorteilhafterweise mit einem Gehalt von 0,1 bis 1 mol-ppm Sauerstoff, insbesondere ca. 0,6 mol-ppm Sauerstoff, gebildet.

[0043] Allgemeiner gesprochen kann das erste Kopfgaskondensat mit einem Gehalt von Y mol-ppm Sauerstoff gebildet werden, wobei das zweite Kopfgaskondensat dann in dem ersten Betriebsmodus insbesondere mit einem Gehalt von $1,2 \times Y$ bis $4,0 \times Y$ mol-ppm Sauerstoff und in dem zweiten Betriebsmodus mit einem Gehalt von $0,1 \times Y$ bis $0,8 \times Y$ mol-ppm Sauerstoff gebildet wird. Y kann im oben angegebenen Bereich liegen.

[0044] Mit anderen Worten erfolgt im Rahmen der vorliegenden Erfindung damit die bereits zuvor erläuterte Anpassung, die die Sauerstoffausbeute in der dritten Kolonne aufgrund der erhöhbaren Rücklaufmenge aus der zweiten in die dritte Kolonne erhöht.

[0045] Bei diesem Rücklauf handelt es sich insbesondere um weiteres Fluid aus der zweiten Kolonne, mit dem die dritte Kolonne gespeist wird. Dieses Fluid kann als Seitenstrom aus der zweiten Kolonne entnommen, entspannt und in einem oberen Bereich, insbesondere oberhalb des obersten Trennbodens, flüssig als Rücklauf in die dritte Kolonne eingespeist werden.

[0046] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann eine beliebige wechselseitige Temperierung von Stoffströmen erfolgen. So können das weitere Fluid aus der zweiten Kolonne, mit dem die dritte Kolonne gespeist wird, die Sumpfflüssigkeit der ersten Kolonne, mit der die dritte Kolonne gespeist wird, die Sumpfflüssigkeit der zweiten Kolonne, mit der die dritte Kolonne gespeist wird, und Kopfgas der dritten Kolonne, das aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet wird, einem Wärmetausch miteinander unterworfen werden. Die weitere Sumpfflüssigkeit der ersten Kolonne kann in einer Ausgestaltung der

vorliegenden Erfindung ebenfalls dem Wärmetausch unterworfen und flüssig aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet werden.

[0047] Die erste Kolonne wird mit abgekühlter, gasförmiger Druckluft gespeist, die vorteilhafterweise zu einem ersten Anteil in einem Turbinenbooster nachverdichtet und danach in dem Turbinenbooster entspannt wird. Ein zweiter Anteil wird nicht in dem Turbinenbooster verdichtet, sondern lediglich bei einem entsprechenden Eingangsdruck im Hauptwärmetauscher abgekühlt.

[0048] In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung wird der Teil des zweiten Kopfgaskondensats, der in dem ersten Betriebsmodus in die erste Kolonne überführt wird, mittels einer Pumpe druckbeaufschlagt und in die erste Kolonne gefördert. Dabei wird eine Pumpe verwendet, die einen mit einem Ventil versehenen Pumpenbypass (insbesondere zurück zur Stelle der Entnahme des zweiten Kopfgaskondensats am Kopf der zweiten Kolonne) aufweist. Dieser Pumpenbypass ist originär, beispielsweise zur Inbetriebnahme oder zur Druck- bzw. Mengenregelung der Pumpe (vor allem im starken Unterlastfall) vorgesehen. Der Bypass wird nur in eine Richtung durchströmt, nämlich zum Kopf der zweiten Kolonne. In dem zweiten Betriebsmodus, in dem die Pumpe typischerweise nicht betrieben wird, kann nun der Teil des ersten Kopfgaskondensats, der in die zweite Kolonne geführt wird, über diesen Pumpenbypass zur zweiten Kolonne strömen.

[0049] Die soeben erläuterte Ausführungsform der Erfindung ist in der Praxis besonders vorteilhaft, weil sich auf diese Weise die Erfindung ohne die Bereitstellung einer separaten Leitung von der ersten zur zweiten Kolonne zur Führung des ersten Kopfgaskondensats realisieren lässt. Das erste Kopfgaskondensat kann in dieser Ausgestaltung über dieselbe Leitung, über die in dem ersten Betriebsmodus das zweite Kopfgaskondensat strömt, in der Gegenrichtung dazu bis zur Pumpe und anschließend über den Bypass in die zweite Kolonne geführt werden. Auf diese Weise lässt sich die Erfindung in einer Luftzerlegungsanlage, die bereits eine entsprechende Leitung mit Pumpe aufweist, rein regelungstechnisch umsetzen.

[0050] Die vorliegende Erfindung erstreckt sich schließlich auch auf eine Luftzerlegungsanlage, zu deren Merkmalen ausdrücklich auf den entsprechenden unabhängigen Patentanspruch verwiesen wird. Insbesondere ist eine derartige Luftzerlegungsanlage zur Durchführung eines Verfahrens eingerichtet, wie es zuvor in unterschiedlichen Ausgestaltungen erläutert wurde, und diese weist hierzu jeweils eingerichtete Mittel auf. Zu Merkmalen und Vorteilen einer entsprechenden Luftzerlegungsanlage sei auf die Erläuterungen betreffend das erfindungsgemäße Verfahren ausdrücklich verwiesen.

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

Figurenbeschreibung

[0052] In den Figuren 1 und 2 sind Luftzerlegungsanlagen 100, 200 gezeigt, die jeweils Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung entsprechen, soweit sie unter den Schutzbereich der Patentansprüche fallen. Die Luftzerlegungsanlagen 100, 200 sind mit einem Kolonnensystem ausgestattet, das jeweils insgesamt mit 10 bezeichnet ist.

[0053] Die Kolonnensysteme 10 weisen dabei jeweils eine erste Kolonne 11, eine zweite Kolonne 12 und eine dritte Kolonne 13 auf.

[0054] Die zweite Kolonne 12 und die dritte Kolonne 13 sind jeweils als Teile einer Doppelkolonne grundsätzlich bekannter Art ausgebildet. Auf die eingangs zitierte Fachliteratur zu Luftzerlegungsanlagen, insbesondere auf die Erläuterungen zu Figur 2.3A bei Häring (s.o.), in der eine entsprechende Doppelkolonne gezeigt ist, sei in diesem Zusammenhang ausdrücklich verwiesen.

[0055] Die erste Kolonne 11 ist separat zur zweiten Kolonne 12 und zur dritten Kolonne 13 ausgebildet. Die erste Kolonne 11 ist mit einem Kopfkondensator 111 ausgestattet, der zur Kondensation von Kopfgas der ersten Kolonne 11 und damit zur Bereitstellung des zuvor als "erstes Kopfgaskondensat" bezeichneten Kopfgaskondensats verwendet wird. In den Kopfkondensator 111 werden jeweils Sumpfflüssigkeit aus der ersten Kolonne 12 sowie abgekühlte Druckluft eingespeist (siehe unten).

[0056] Die zweite Kolonne 12 und die dritte Kolonne 13 stehen über einen innenliegenden Kondensatorverdampfer 121, den sogenannten Hauptkondensator, in wärmetauschender Verbindung miteinander. Der Hauptkondensator 121 dient einerseits zum Kondensieren eines Kopfgases der zweiten Kolonne 12 und damit zur Bereitstellung des "zweiten Kopfgaskondensats" und andererseits zum Verdampfen einer Sumpfflüssigkeit der dritten Kolonne 13. Alternativ zu der hier veranschaulichten Ausgestaltung können die zweite Kolonne 12 und die dritte Kolonne 13 auch separat ausgebildet sein. Der Hauptkondensator 121 kann alternativ auch außenliegend ausgebildet sein. Unterschiedliche Arten von Kondensatorverdampfern sind als Hauptkondensatoren 121 verwendbar.

[0057] In den Luftzerlegungsanlagen 100, 200 wird ein Einsatzluftstrom a aus der hier allgemein mit A bezeichneten Atmosphäre mittels eines Hauptluftverdichters 101 über einen nicht gesondert bezeichneten, schraffiert veranschaulichten Filter angesaugt, in einem ebenfalls nicht gesondert bezeichneten Nachkühler nachgekühlt und einem Direktkontaktkühler 102 zugeführt, der mit Kühlwasser W betrieben wird.

[0058] Nach der in dem Direktkontaktkühler 102 erfolgten Vorkühlung wird der weiter mit a bezeichnete Einsatzluftstrom in einer Adsorptionseinrichtung 103 in vielfach in der Literatur beschriebener Weise von Wasser und Kohlendioxid befreit. Der weiter mit a bezeichnete, entsprechend behandelte und damit aufgereinigte Einsatzluftstrom wird anschließend in zwei Teilströme b und

c aufgeteilt. Der Teilstrom b wird in einer mit dem Hauptluftverdichter 101 integrierten Verdichterstufe 104 nachverdichtet und danach in zwei Teilströme d und e aufgeteilt, wobei der Teilstrom d in einem Turbinenbooster 105 nachverdichtet, danach im Hauptwärmetauscher 106 teilabgekühlt, in dem Turbinenbooster 105 entspannt und in die erste Kolonne 11 eingespeist wird. Der Teilstrom e wird lediglich im Hauptwärmetauscher abgekühlt, aufgrund des höheren Drucks als der Teilstrom c verflüssigt, und in den Kopfkondensator 111 eingespeist. Der Teilstrom c wird durch den Hauptwärmetauscher 106 geführt und nach dem Abkühlen gasförmig zusammen mit dem Teilstrom d in die erste Kolonne 11 eingespeist.

[0059] Sumpfflüssigkeit der ersten Kolonne 11 wird aus dieser abgezogen und in zwei Teilströme f und g aufgeteilt. Der Teilstrom f wird in den Kopfkondensator 111 eingespeist, der Teilstrom g nach Abkühlung in einem Unterkühlungsgegenströmer 107 in die dritte Kolonne 13 (vgl. Verknüpfung 1). Kopfgas vom Kopf der ersten Kolonne 11 wird in Form eines Teilstroms h im Hauptwärmetauscher 106 erwärmt und als Druckstickstoffprodukt H aus der Luftzerlegungsanlage 100, 200 ausgeleitet. Weiteres Kopfgas wird in dem Kopfkondensator 111 kondensiert und damit als Stoffstrom k zur Bereitstellung des ersten Kopfgaskondensats verwendet. Ein Anteil des gebildeten Kondensats kann auch als Flüssigstickstoffprodukt K ausgeleitet werden.

[0060] In der zweiten Kolonne 12 wird Sumpfflüssigkeit gebildet, die in Form eines Stoffstroms m in dem Unterkühlungsgegenströmer 107 unterkühlt und danach in die dritte Kolonne 13 eingespeist wird. Kopfgas der zweiten Kolonne kann in Form eines Stoffstroms n beispielsweise zur Bereitstellung von Sealgas N erwärmt und ausgeleitet werden. Weiteres Kopfgas wird in Form eines Stoffstroms o zur Bereitstellung des zweiten Kopfgaskondensats verwendet. Ein Seitenstrom aus der zweiten Kolonne wird (vgl. Verknüpfung 1) nach Unterkühlung in dem Unterkühlungsgegenströmer 107 aus der zweiten Kolonne 12 in die dritte Kolonne 13 entspannt.

[0061] Sumpfflüssigkeit der dritten Kolonne 13 kann in Form eines Stoffstroms p aus dieser abgezogen, in einer Pumpe 108 flüssig druckerhöht, verdampft und als innenverdichtetes Sauerstoffprodukt P bereitgestellt werden. Ein Teil kann auch nach Unterkühlung als Flüssigsauerstoffprodukt X bereitgestellt werden. Vom Kopf der dritten Kolonne 13 kann Unreinstickstoff in Form eines Stoffstroms q abgezogen, in dem Unterkühlungsgegenströmer 107 erwärmt, im Hauptwärmetauscher 106 weiter erwärmt und beispielsweise als Regeneriergas verwendet werden.

[0062] Das Kopfgas der ersten Kolonne 11, das gasförmig aus den Luftzerlegungsanlagen 100, 200 in Form des Stoffstroms h ausgeleitet wird, wird in einem ersten Betriebsmodus in einer ersten Menge pro Zeiteinheit und in einem zweiten Betriebsmodus in einer zweiten Menge pro Zeiteinheit, die unterhalb der ersten Menge pro Zeiteinheit liegt, ausgeleitet. Wie in Form der in den Betriebsmodi alternativ bereitgestellten Stoffströme r und s ver-

anschaulicht, wird in dem ersten Betriebsmodus ein Teil des zweiten Kopfgaskondensats aus der zweiten Kolonne 12 in die erste Kolonne 11 überführt, und in dem zweiten Betriebsmodus wird ein Teil des ersten Kopfgaskondensats aus der zweiten Kolonne 12 in die erste Kolonne 11 überführt.

[0063] Hierzu sind in der Luftzerlegungsanlage 100 eine Pumpe 109 und ein nicht gesondert bezeichnetes Ventil vorhanden, die über eine Steuereinheit 50, die auch zur Einleitung des ersten und zweiten Betriebsmodus dient, angesteuert werden. Zur Realisierung des ersten und zweiten Betriebsmodus wird dagegen in der Anlage 200 ein vorhandener Pumpenbypass 201 verwendet.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft, bei dem eine Luftzerlegungsanlage (100, 200) verwendet wird, die eine erste Kolonne (11), eine zweite Kolonne (12) und eine dritte Kolonne (13) aufweist, wobei die erste Kolonne (11) in einem ersten Druckbereich, die zweite Kolonne (12) in einem zweiten Druckbereich, der unterhalb des ersten Druckbereichs liegt, und die dritte Kolonne (13) in einem dritten Druckbereich, der unterhalb des ersten Druckbereichs und des zweiten Druckbereichs liegt, betrieben wird, wobei die dritte Kolonne (13) mit Sumpfflüssigkeit der ersten Kolonne (11) und Sumpfflüssigkeit der zweiten Kolonne (12) gespeist wird, wobei aus Kopfgas der ersten Kolonne (11) ein erstes Kopfgaskondensat und aus Kopfgas der zweiten Kolonne (12) ein zweites Kopfgaskondensat gebildet wird, und wobei weiteres Kopfgas der ersten Kolonne (11) gasförmig aus der Luftzerlegungsanlage (100, 200) ausgeleitet wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das weitere Kopfgas der ersten Kolonne (11), das gasförmig aus der Luftzerlegungsanlage (100, 200) ausgeleitet wird, in einem ersten Betriebsmodus in einer ersten Menge pro Zeiteinheit und in einem zweiten Betriebsmodus in einer zweiten Menge pro Zeiteinheit, die unterhalb der ersten Menge pro Zeiteinheit liegt, aus der Luftzerlegungsanlage (100, 200) ausgeleitet wird, dass in dem ersten Betriebsmodus ein Teil des zweiten Kopfgaskondensats in die erste Kolonne (11) überführt wird, und dass in dem zweiten Betriebsmodus ein Teil des ersten Kopfgaskondensats in die erste Kolonne (11) überführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem in dem ersten Betriebsmodus kein Teil des ersten Kopfgaskondensats in die zweite Kolonne (12) überführt wird, und bei dem in dem zweiten Betriebsmodus kein Teil des zweiten Kopfgaskondensats in die erste Kolonne (11) überführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die erste Menge pro Zeiteinheit beim 1,1-fachen bis 2-fachen der ersten Menge pro Zeiteinheit liegt.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Teil des zweiten Kopfgaskondensats, der in dem ersten Betriebsmodus in die erste Kolonne (11) überführt wird, in einer Menge pro Zeiteinheit in die erste Kolonne (11) überführt wird, die beim 1,5-fachen bis 10-fachen einer Menge pro Zeiteinheit liegt, in der der Teil des ersten Kopfgaskondensats in dem zweiten Betriebsmodus in die erste Kolonne (11) Kolonne überführt wird.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das erste Kopfgaskondensat in einem ersten Kondensatorverdampfer (111) gebildet wird, mittels dessen weitere Sumpfflüssigkeit der ersten Kolonne (11) und/oder verflüssigte Druckluft verdampft wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem durch das Verdampfen in dem ersten Kondensatorverdampfer gebildetes Gas und/oder bei dem Verdampfen verbleibende Flüssigkeit in die zweite Kolonne (12) eingespeist wird, und/oder bei dem das zweite Kopfgaskondensat in einem weiteren Kondensatorverdampfer (121) gebildet wird, mittels dessen Sumpfflüssigkeit der dritten Kolonne (13) verdampft wird.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem Sumpfflüssigkeit der dritten Kolonne (13) flüssig einer Druckerhöhung auf einen Produktdruck unterworfen, auf dem Produktdruck in gasförmigen oder überkritischen Zustand überführt, und im gasförmigen oder überkritischen Zustand aus der Luftzerlegungsanlage (100, 200) ausgeleitet wird.
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das erste Kopfgaskondensat mit einem Gehalt von Y mol-ppm Sauerstoff gebildet wird, bei dem das zweite Kopfgaskondensat in dem ersten Betriebsmodus mit einem Gehalt von $1,2 \times Y$ bis $4,0 \times Y$ mol-ppm Sauerstoff gebildet wird, und bei dem das zweite Kopfgaskondensat in dem zweiten Betriebsmodus mit einem Gehalt von $0,1 \times Y$ bis $0,8 \times Y$ mol-ppm Sauerstoff gebildet wird.
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die dritte Kolonne (13) mit weiterem Fluid aus der zweiten Kolonne (12) gespeist wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem das weitere Fluid aus der zweiten Kolonne, mit dem die dritte Kolonne (13) gespeist wird, die Sumpfflüssigkeit der ersten Kolonne (11), mit der die dritte Kolonne (13) gespeist wird, die Sumpfflüssigkeit der zweiten Kolonne (12), mit der die dritte Kolonne (13) gespeist

wird, und Kopfgas der dritten Kolonne (13), das aus der Luftzerlegungsanlage (100, 200) ausgeleitet wird, einem Wärmetausch miteinander unterworfen werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem weitere Sumpfflüssigkeit der dritten Kolonne dem Wärmetausch unterworfen und flüssig aus der Luftzerlegungsanlage (100, 200) ausgeleitet wird.

5

12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die erste Kolonne (11) mit abgekühlter, gasförmiger Druckluft gespeist wird.

10

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem die abgekühlte, gasförmige Druckluft zu einem ersten Anteil in einem Turbinenbooster (105) nachverdichtet und danach in dem Turbinenbooster (105) entspannt wird.

15

14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Teil des zweiten Kopfgaskondensats, der in dem ersten Betriebsmodus in die erste Kolonne (11) überführt wird, mittels einer Pumpe (109) druckbeaufschlagt und in die erste Kolonne (11) gefördert wird, wobei die Pumpe (109) einen Bypass aufweist, über den in dem zweiten Betriebsmodus der Teil des ersten Kopfgaskondensats in die zweite Kolonne (12) geführt wird.

20

25

15. Luftzerlegungsanlage (100, 200) mit einer ersten Kolonne (11), einer zweiten Kolonne (12) und einer dritten Kolonne (13), wobei die erste Kolonne (11) für einen Betrieb in einem ersten Druckbereich, die zweite Kolonne (12) für einen Betrieb in einem zweiten Druckbereich, der unterhalb des ersten Druckbereichs liegt, und die dritte Kolonne (13) für einen Betrieb in einem dritten Druckbereich, der unterhalb des ersten Druckbereichs und des zweiten Druckbereichs liegt, eingerichtet ist, wobei Mittel bereitgestellt sind, die dafür eingerichtet sind, die dritte Kolonne (13) mit Sumpfflüssigkeit der ersten Kolonne (11) und Sumpfflüssigkeit der zweiten Kolonne (12) zu speisen, aus Kopfgas der ersten Kolonne (11) ein erstes Kopfgaskondensat und aus Kopfgas der zweiten Kolonne (12) ein zweites Kopfgaskondensat zu bilden, und weiteres Kopfgas der ersten Kolonne (11) gasförmig aus der Luftzerlegungsanlage (100, 200) auszuleiten, **dadurch gekennzeichnet, dass** Mittel bereitgestellt sind, die dafür eingerichtet sind, das weitere Kopfgas der ersten Kolonne (11), das gasförmig aus der Luftzerlegungsanlage (100, 200) ausgeleitet wird, in einem ersten Betriebsmodus in einer ersten Menge pro Zeiteinheit und in einem zweiten Betriebsmodus in einer zweiten Menge pro Zeiteinheit, die unterhalb der ersten Menge pro Zeiteinheit liegt, aus der Luftzerlegungsanlage (100, 200) auszuleiten, in dem ersten Betriebsmo-

30

35

40

45

50

55

aus einen Teil des zweiten Kopfgaskondensats in die erste Kolonne (11) zu überführen, und in dem zweiten Betriebsmodus einen Teil des ersten Kopfgaskondensats in die erste Kolonne (11) Kolonne zu überführen.

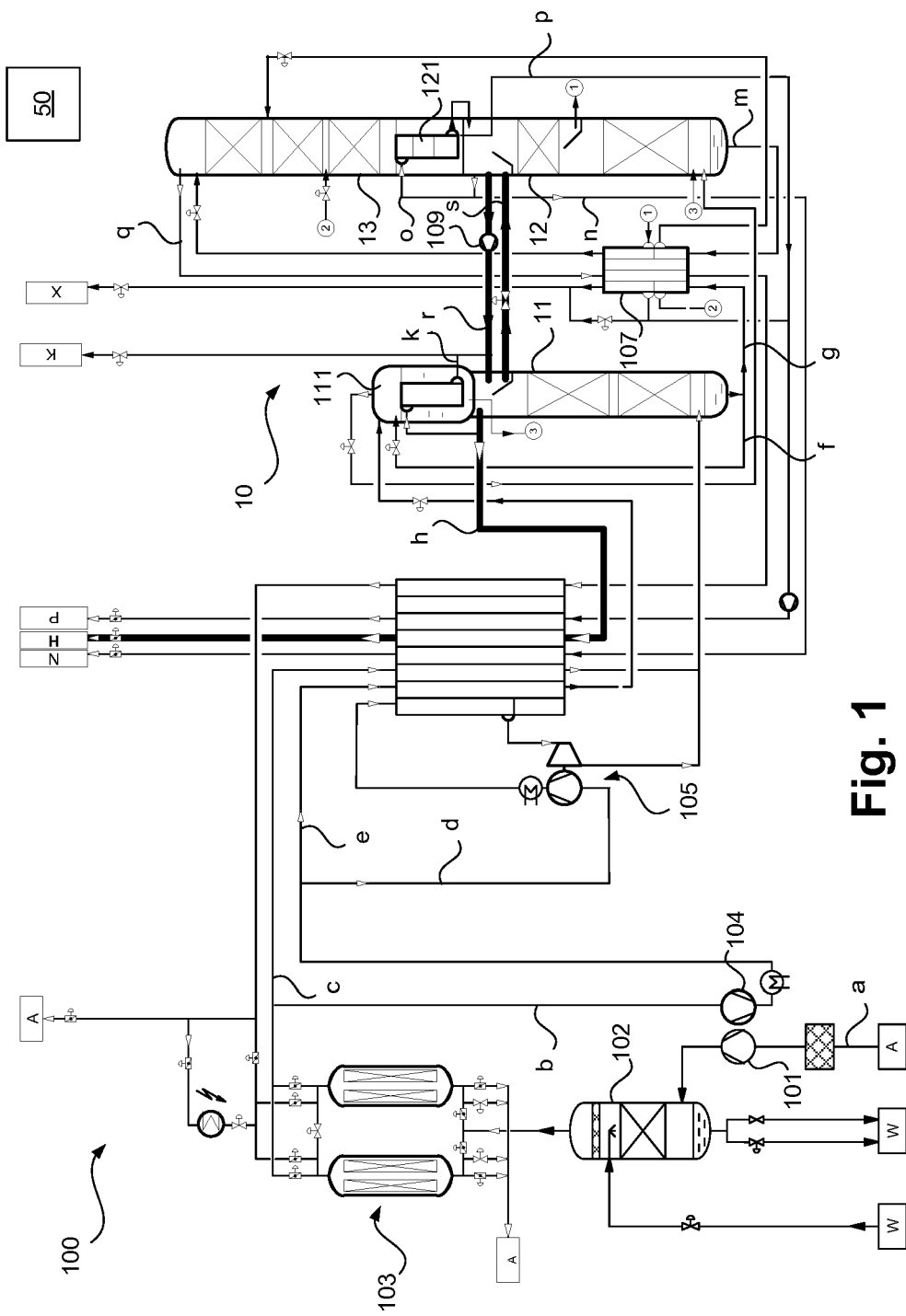
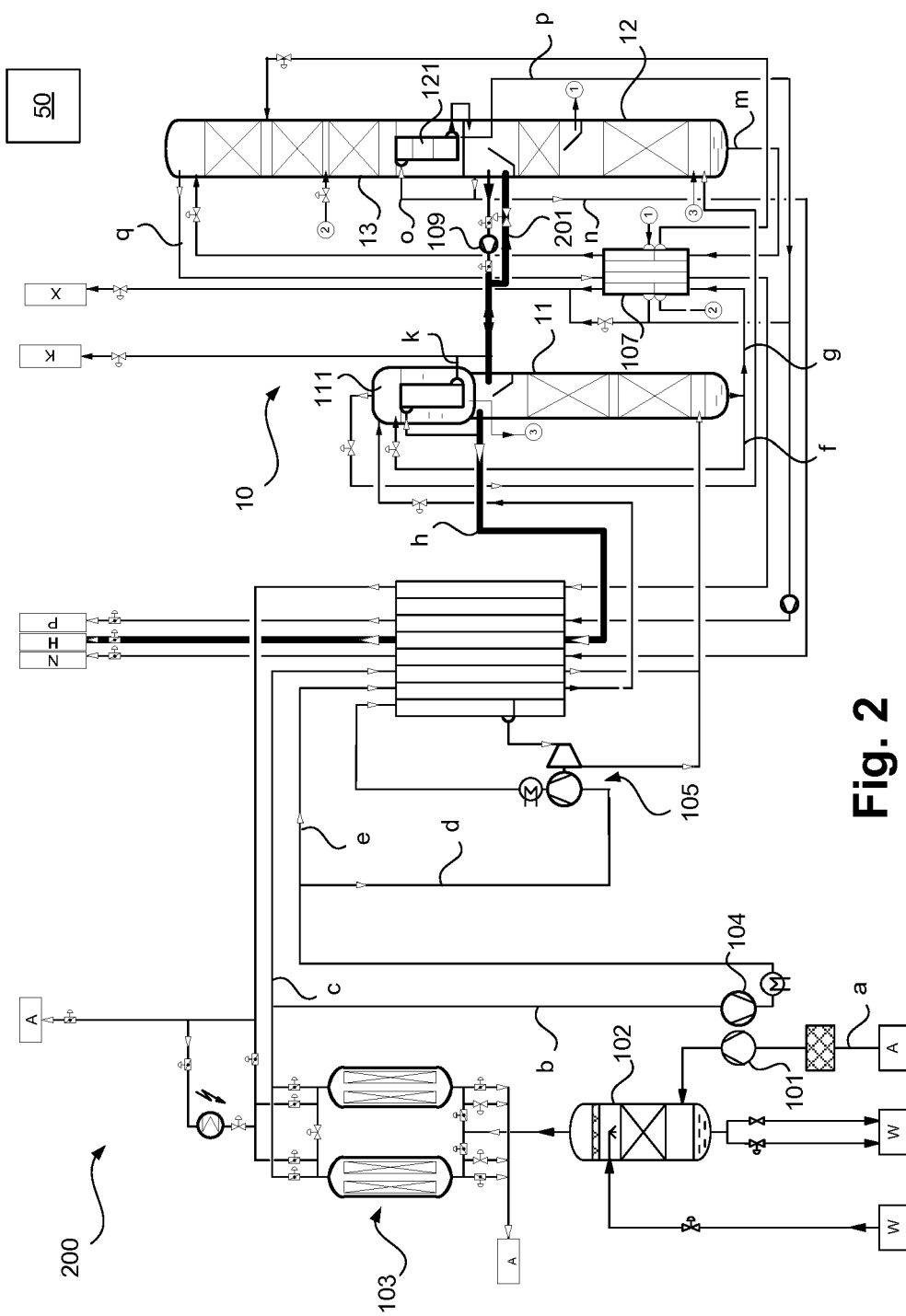


Fig. 1





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 19 02 0450

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)
X	EP 1 653 183 A1 (AIR PROD & CHEM [US]) 3. Mai 2006 (2006-05-03) * Abbildung 3 *	1,3,4, 7-13,15 2,5,6,14	INV. F25J3/04
A	----- EP 2 235 460 A2 (LINDE AG [DE]) 6. Oktober 2010 (2010-10-06) * Abbildung 1 *	1-15	
A	----- US 3 280 574 A (RUDOLF BECKER) 25. Oktober 1966 (1966-10-25) * Abbildung 3 *	1-15	
A	----- WO 2014/146779 A2 (LINDE AG [DE]) 25. September 2014 (2014-09-25) * Abbildung 5 *	1-15	

			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F25J
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 18. Dezember 2019	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	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

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

EP 19 02 0450

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.

18-12-2019

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1653183 A1	03-05-2006	CN 1760612 A	19-04-2006
		EP 1653183 A1	03-05-2006
		US 2006075779 A1	13-04-2006
EP 2235460 A2	06-10-2010	CN 101925790 A	22-12-2010
		EP 2235460 A2	06-10-2010
		JP 5425100 B2	26-02-2014
		JP 2011511246 A	07-04-2011
		KR 20100107042 A	04-10-2010
		PL 2235460 T3	31-12-2018
		US 2011023540 A1	03-02-2011
		WO 2009095188 A2	06-08-2009
US 3280574 A	25-10-1966	DE 1117616 B	23-11-1961
		US 3280574 A	25-10-1966
WO 2014146779 A2	25-09-2014	AU 2014234685 A1	27-08-2015
		CN 105452790 A	30-03-2016
		US 2016003531 A1	07-01-2016
		WO 2014146779 A2	25-09-2014

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

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