

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
10. Dezember 2020 (10.12.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2020/244801 A1**

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

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/025207

(22) Internationales Anmeldedatum:  
06. Mai 2020 (06.05.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
19020361.2 04. Juni 2019 (04.06.2019) EP

(71) Anmelder: LINDE GMBH [DE/DE]; Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14, 82049 Pullach (DE).

(72) Erfinder: GOLUBEV, Dimitri; Jeschenstrasse 117b, 82538 Geretsried (DE).

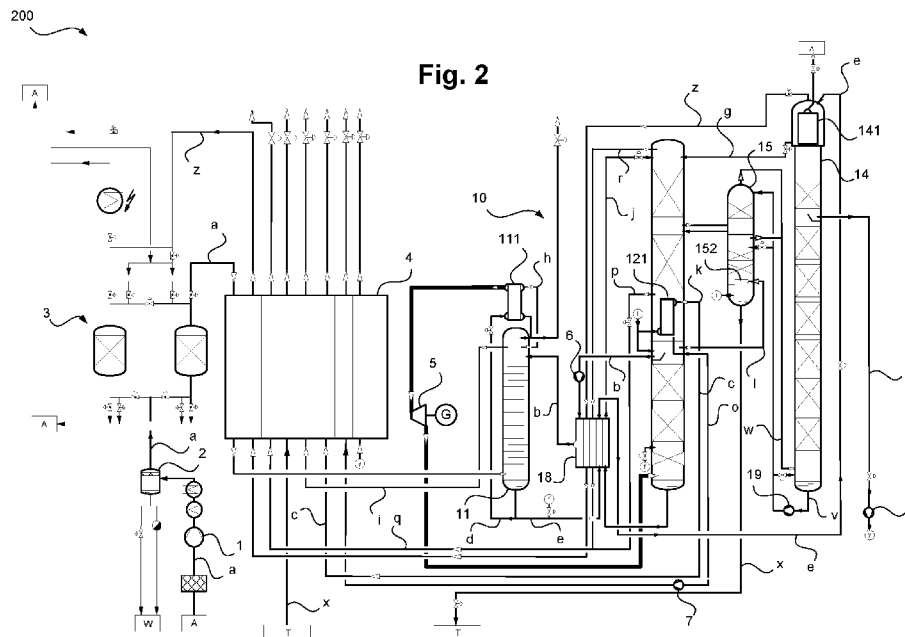
(74) Anwalt: IMHOF, Dietmar; Linde GmbH, Intellectual Property EMEA, Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14, 82049 Pullach (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR LOW-TEMPERATURE AIR SEPARATION

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANLAGE ZUR TIEFTEMPERATURZERLEGUNG VON LUFT



(57) Abstract: The invention relates to a method for low-temperature air separation, in which an air separation system (100-500) with a column system (10) is used which has a first column (11), a second column (12), a third column (13) and a fourth column (14), wherein fluid from the first column (11) is fed at least into the second column (12), fluid from the second column (12) is fed at least into the third column (13), fluid from the third column (13) is fed at least into the fourth column (14), and fluid from the fourth column (14) is fed at least into the third column (13), and wherein the fluid fed from the third column (13) into the fourth column (14) comprises at least part of a side flow which is drawn from the third column (13) and has a lower oxygen content and a higher argon content than the third sump liquid. According to the invention, a return liquid is formed by condensing head gas from the first column (11) and is fed

WO 2020/244801 A1

GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

---

back flowingly to the first column (11). In order to condense the head gas from the first column (11), a liquid cooling flow is provided and is evaporated or partially evaporated in indirect heat exchange with the head gas, and gas formed during the evaporation or partial evaporation of the cooling stream is expanded to a pressure in the second pressure range such that work is performed and is fed into the second column (12). The present invention also relates to a corresponding system (100-500).

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft, bei dem eine Luftzerlegungsanlage (100-500) mit einem Kolonnensystem (10) verwendet wird, das eine erste Kolonne (11), eine zweite Kolonne (12), eine dritte Kolonne (13) und eine vierte Kolonne (14) aufweist, wobei Fluid aus der ersten Kolonne (11) zumindest in die zweite Kolonne (12), Fluid aus der zweiten Kolonne (12) zumindest in die dritte Kolonne (13), Fluid aus der dritten Kolonne (13) zumindest in die vierte Kolonne (14) und Fluid aus der vierten Kolonne (14) zumindest in die dritte Kolonne (13) eingespeist wird, und wobei das aus der dritten Kolonne (13) in die vierte Kolonne (14) eingespeiste Fluid zumindest einen Teil eines Seitenstroms umfasst, der mit einem geringeren Sauerstoffgehalt und einem höheren Argongehalt als die dritte Sumpfflüssigkeit aus der dritten Kolonne (13) entnommen wird. Es ist vorgesehen, dass durch ein Kondensieren von Kopfgas durch Kondensieren von Kopfgas der ersten Kolonne (11) eine Rücklauf Flüssigkeit gebildet wird und diese flüssig auf die erste Kolonne (11) zurückgeführt wird. Zum Kondensieren des Kopfgases der ersten Kolonne (11) wird ein flüssiger Kühlstrom bereitgestellt und im indirekten Wärmetausch gegen das Kopfgas verdampft oder teilverdampft, und bei der Verdampfung oder Teilverdampfung des Kühlstroms gebildetes Gas wird arbeitsleistend auf einen Druck in dem zweiten Druckbereich entspannt und in die zweite Kolonne (12) eingespeist. Eine entsprechende Anlage (100-500) ist ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung.

## Beschreibung

### Verfahren und Anlage zur Tieftemperaturzerlegung von Luft

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anlage zur Tieftemperaturzerlegung von Luft gemäß den Oberbegriffen der unabhängigen  
5 Patentansprüche.

#### Stand der Technik

Die Herstellung von Luftprodukten in flüssigem oder gasförmigem Zustand durch  
10 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.

Luftzerlegungsanlagen weisen Rektifikationskolonnensysteme auf, die  
15 herkömmlicherweise beispielsweise als Zweikolonnensysteme, insbesondere als klassische Linde-Doppelkolonnensysteme, aber auch als Drei- oder Mehrkolonnensysteme ausgebildet sein können. Neben den Rektifikationskolonnen zur Gewinnung von Stickstoff und/oder Sauerstoff in flüssigem und/oder gasförmigem Zustand, also den Rektifikationskolonnen zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung, können  
20 Rektifikationskolonnen zur Gewinnung weiterer Luftkomponenten, insbesondere der Edelgase Krypton, Xenon und/oder Argon, vorgesehen sein. Häufig werden dabei die Begriffe "Rektifikation" und "Destillation" sowie "Kolonne" und "Säule" bzw. hieraus zusammengesetzte Begriffe synonym verwendet.

25 Die Rektifikationskolonnen der genannten Rektifikationskolonnensysteme 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  
30 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 Rektifikationskolonnen auch höhere Druckniveaus eingesetzt werden. Bei den hier und

nachfolgend angegebenen Drücken handelt es sich um Absolutdrücke am Kopf der jeweils angegebenen Kolonnen.

5 Insbesondere zur Versorgung von Halbleiterwerken (sogenannten Fabs) wird neben gasförmigem, hochreinem und möglichst partikelfreiem Stickstoff und ggf. Sauerstoff zunehmend auch die Versorgung mit vergleichsweise geringen Mengen an gasförmigem Argon gewünscht. Hierzu kann entweder Flüssigargon angeliefert oder und vor Ort verdampft werden, oder es kann eine Gewinnung von gasförmigem Argon vor Ort erfolgen. Die Anlieferung von Flüssigargon bringt nicht nur ökonomische  
10 Nachteile (Transportkosten, Umtankverluste, Kälteverluste bei Verdampfung gegen Umgebungsluft) mit sich, sondern stellt auch hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Logistikkette. Daher werden für die genannten Anwendungsgebiete zunehmend Anlagen zur Tieftemperaturzerlegung von Luft nachgefragt, die neben größeren Mengen an gasförmigem, hochreinem Stickstoff auch kleinere Mengen an  
15 gasförmigem Argon liefern können. Der produzierte Stickstoff sollte typischerweise nur ca. 1 ppb, maximal 1000 ppb, Sauerstoff aufweisen, im Wesentlichen partikelfrei sein, und auf einem deutlich überatmosphärischen Druckniveau geliefert werden können. Angaben in ppb bzw. ppm beziehen sich hier auf den molaren Anteil.

20 Zur Argongewinnung werden typischerweise Luftzerlegungsanlagen mit Doppelkolonnensystemen und sogenannten Roh- und ggf. sogenannten Reinargonkolonnen eingesetzt. Ein Beispiel ist bei Häring (s.o.) in Figur 2.3A veranschaulicht und ab Seite 26 im Abschnitt "Rectification in the Low-pressure, Crude and Pure Argon Column" sowie ab Seite 29 im Abschnitt "Cryogenic Production of  
25 Pure Argon" beschrieben. Grundsätzlich kann in entsprechenden Anlagen auch auf eine Reinargonkolonne verzichtet werden, wenn die betreffenden Rektifikationskolonnen entsprechend ausgebildet werden. Reinargon kann dann aus der Rohargonkolonne bzw. einer vergleichbaren Kolonne typischerweise etwas weiter unterhalb als das herkömmlicherweise in die Reinargonkolonne überführte Fluid  
30 abgezogen werden.

Auch wenn nur vergleichsweise geringe Argonmengen nachgefragt werden, muss herkömmlicherweise dennoch für die Produktion des gasförmigen Argons eine komplette (d.h. mit klassischer Niederdruckkolonne zur Sauerstoffgewinnung  
35 ausgestattete) Luftzerlegungsanlage mit Doppelkolonne und Argonrektifikation

installiert werden, wie sie zuvor erläutert wurde. Die Erzeugung von Stickstoff auf einem deutlich überatmosphärischen Druckniveau bei gleichzeitig großen Produktionsmengen ist in derartigen Anlagen mit vernünftigen Ausbeuten nicht möglich. Der Stickstoff fällt hier zum Großteil als Niederdruckprodukt an und muss  
5 verdichtet werden. Der restliche Teil kann unter Drucksäulendruck gewonnen werden, muss aber in meisten Fällen ebenfalls nachverdichtet werden. In alternativen Anlagenkonfigurationen, in denen ausschließlich die Hochdruckkolonne zur Stickstoffproduktion verwendet wird kann zwar die Verdichtung von Stickstoff aus der Niederdruckkolonne entfallen, jedoch nicht der Nachverdichter. Außerdem liegen hier  
10 in der Regel schlechte Stickstoffausbeuten vor und entsprechende Anlagen sind auch nicht gut für die Argonproduktion geeignet

Die vorliegende Erfindung stellt sich daher die Aufgabe, ein Verfahren und eine Luftzerlegungsanlage anzugeben, mittels welchem bzw. welcher neben größeren  
15 Mengen an hochreinem, gasförmigem Stickstoff auf einem deutlich überatmosphärischen Druckniveau auch Argon in vorteilhafter Weise bereitgestellt werden kann.

#### Offenbarung der Erfindung

20

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.

25

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

30

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.

35

Flüssigkeiten und Gase können im hier verwendeten Sprachgebrauch reich oder arm an einer oder an 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 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, Stickstoff oder Argon ist, jedoch nicht notwendigerweise ausschließlich hieraus bestehen muss.

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.

Ist hier von "Entspannungsmaschinen" die Rede, seien darunter typischerweise bekannte Turboexpander 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. Ein "Kaltverdichter" bezeichnet dabei hier einen Verdichter, dem ein Fluidstrom in einem Temperaturbereich deutlich unterhalb von 0 °C, insbesondere unterhalb von -50, -75 oder -100 °C und bis zu -150 oder -200 °C zugeführt wird. Ein entsprechender Fluidstrom wird insbesondere mittels eines Hauptwärmetauschers (siehe sogleich) auf eine Temperatur in diesem Temperaturbereich abgekühlt.

Ein "Hauptluftverdichter" zeichnet sich dadurch aus, dass durch ihn die gesamte, der Luftzerlegungsanlage 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 Stoffströme, die aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet werden. Solche "ausgeleiteten" Stoffströme oder "Produkte" sind im hier verwendeten Sprachgebrauch Fluide, die nicht mehr an anlageninternen Kreisläufen teilnehmen, sondern diesen dauerhaft entzogen werden.

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 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.

5

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.

10

In einem "Forced-Flow"-Kondensatorverdampfer wird ein Flüssigkeits- oder Zweiphasenstrom mittels seines eigenen Drucks durch den Verdampfungsraum gedrückt und dort partiell oder vollständig verdampft. Dieser Druck kann beispielsweise durch eine Flüssigkeitssäule in der Zuleitung zum Verdampfungsraum erzeugt werden.

15

Die Höhe dieser Flüssigsäule entspricht dabei dem Druckverlust im Verdampfungsraum. Das aus dem Verdampfungsraum austretende Gas-Flüssigkeitgemisch wird in einem "Once Through"-Kondensatorverdampfer dieser Art nach Phasen getrennt direkt zum nächsten Verfahrensschritt bzw. zu einer stromabwärtigen Vorrichtung weitergeleitet und insbesondere nicht in ein

20

Flüssigkeitsbad des Kondensatorverdampfers eingeleitet, von dem der flüssig verbliebene Anteil erneut angesaugt würde.

Die relativen räumlichen Begriffe "oben", "unten", "über", "unter", "oberhalb", "unterhalb", "neben", "nebeneinander", "vertikal", "horizontal" etc. beziehen sich hier auf die räumliche Ausrichtung der Rektifikationskolonnen einer Luftzerlegungsanlage oder anderer Komponenten im Normalbetrieb. Unter einer Anordnung zweier Komponenten "übereinander" wird hier verstanden, dass das sich 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 Apparateteile in einer horizontalen Ebene überschneiden.

25

30

35

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

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

Die erste bis dritte Kolonne gehen in der erfindungsgemäßen Luftzerlegungsanlage insbesondere 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.

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.

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.

5

Wie ebenfalls insoweit aus dem Bereich der Luftzerlegung bekannt und üblich, wird in der ersten Kolonne eine erste Sumpfflüssigkeit gebildet, in der zweiten Kolonne wird eine zweite Sumpfflüssigkeit gebildet, in der dritten Kolonne wird eine dritte Sumpfflüssigkeit gebildet und in der vierten Kolonne wird eine vierte Sumpfflüssigkeit gebildet. Anders als die erste bis dritte Kolonne dient die vierte Kolonne im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere zur Argongewinnung bzw. Argonausschleusung aus einem Gasgemisch, das aus der dritten Kolonne entnommen wird. Die vierte Kolonne kann insbesondere eine herkömmliche 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.

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. Die vierte Kolonne kann insbesondere in dem dritten Druckbereich betrieben werden oder in einem geringfügig darunter liegenden Druckbereich, der sich insbesondere aus Druckverlusten über die die dritte und vierte Kolonne verbindenden Leitungen ergeben kann.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird die zweite Sumpfflüssigkeit mit einem höheren Sauerstoffgehalt und einem höheren Argongehalt als die erste Sumpfflüssigkeit gebildet und die dritte Sumpfflüssigkeit wird mit einem höheren Sauerstoffgehalt und einem geringeren Argongehalt als die zweite Sumpfflüssigkeit gebildet. Der höhere Argongehalt der zweiten Sumpfflüssigkeit gegenüber jenem der ersten Sumpfflüssigkeit ergibt sich dabei durch die unterschiedlichen Betriebsbedingungen, insbesondere die unterschiedlichen Drücke, die zum Betrieb der ersten und zweiten Kolonne verwendet werden, sowie durch unterschiedliche

Zusammensetzungen von Stoffströmen, die in die erste und zweite Kolonne eingespeist werden. Hingegen ergibt sich der geringere Argongehalt in der dritten Kolonne insbesondere daraus, dass aus dieser dritten Kolonne ein an Argon angereichertes Gas entnommen wird, wie nachfolgend noch erläutert.

5

Insbesondere kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung der erste Sauerstoffgehalt bei 28 bis 40%, insbesondere bei ca. 34%, der zweite Sauerstoffgehalt bei ca. 45 bis 65%, insbesondere bei ca. 55%, und der dritte Sauerstoffgehalt bei ca. 99,0 bis 99,9%, insbesondere bei ca. 99,5%, liegen. Die jeweiligen Prozentangaben beziehen sich

10

dabei auf den molaren Gehalt von Sauerstoff in einem entsprechenden Komponentengemisch. Die dritte Kolonne wird daher im Rahmen der vorliegenden Erfindung als Reinsauerstoffkolonne genutzt und aus dieser kann ein entsprechendes reines Sauerstoffprodukt abgezogen werden. Dagegen werden die erste und die zweite Sumpfflüssigkeit typischerweise nicht als Produkt verwendet, sondern in der Anlage

15

weiter aufbereitet.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird allgemein Fluid aus der ersten Kolonne zumindest in die zweite Kolonne eingespeist. Das aus der ersten Kolonne in die zweite Kolonne eingespeiste Fluid kann insbesondere Sumpfflüssigkeit der ersten Kolonne

20

umfassen, die verdampft, entspannt und in die zweite Kolonne eingeleitet wird. Insbesondere kann Fluid aus der ersten Kolonne in die zweite und in die dritte Kolonne eingespeist werden. Fluid aus der zweiten Kolonne wird zumindest in die dritte Kolonne eingespeist, Fluid aus der dritten Kolonne wird zumindest in die vierte Kolonne eingespeist, und Fluid aus der vierten Kolonne wird zumindest in die dritte Kolonne

25

eingespeist.

Ist hier jeweils davon die Rede, dass "Fluid" aus einer Kolonne "zumindest" in eine andere eingespeist wird, sei hierunter insbesondere eine direkte oder indirekte Überführung eines entsprechenden Fluidstroms verstanden. Insbesondere kann die

30

Überführung entsprechenden Fluids auch zunächst die Einspeisung in einem Kondensatorverdampfer bzw. dessen Verdampfungsraum umfassen, aus welchem dann flüssige und/oder gasförmige Anteile in die andere Kolonne überführt werden. Auch diese Fluidführung fällt damit unter die Überführung eines Fluids von einer in die andere Kolonne. Entsprechendes gilt auch, wenn ein entsprechendes Fluid nur

teilweise überführt wird, beispielsweise wenn es an bestimmten Komponenten an- oder abgereichert und/oder in Teilströme aufgeteilt wird.

- Die überführten Fluide können Kopfgase, Sumpfflüssigkeiten und/oder Seitenströme entsprechender Kolonnen umfassen. Unter einem "Seitenstrom" wird dabei ein Stoffstrom verstanden, der einer entsprechenden Kolonne zwischen unterschiedlichen Trennböden bzw. Trennabschnitten entnommen wird, wohingegen das Kopfgas ein Gasgemisch bezeichnet, das der Kolonne oberhalb des obersten Trennbodens bzw. Trennbereichs entnommen wird und eine Sumpfflüssigkeit die Flüssigkeit bezeichnet, die aus einer entsprechenden Kolonne unterhalb des untersten Trennbodens bzw. Trennbereichs entnommen wird. Eine Sumpfflüssigkeit wird insbesondere in Form eines flüssigen Stoffstroms, ein Kopfgas insbesondere in Form eines gasförmigen Stoffstroms ausgeleitet. Es können jedoch auch beispielsweise direkt oberhalb des Sumpfs, jedoch noch unterhalb des untersten Trennabschnitts bzw. des untersten Trennbodens, flüssige oder gasförmige Stoffströme entnommen werden. Ein Seitenstrom kann in flüssigem oder gasförmigem Zustand vorliegen. Ein flüssiger Seitenstrom kann beispielsweise aus einer Flüssigkeitsrückhalteeinrichtung oder von einem Stauboden entnommen werden.
- Im Rahmen der vorliegenden Erfindung umfasst das aus der dritten Kolonne in die vierte Kolonne eingespeiste Fluid zumindest einen Teil eines Seitenstroms, der mit einem geringeren Sauerstoffgehalt und einem höheren Argongehalt als die dritte Sumpfflüssigkeit aus der dritten Kolonne entnommen wird. Der Seitenstrom wird dabei insbesondere im Bereich des bereits zuvor erläuterten Argonübergangs aus der dritten Kolonne entnommen, er kann jedoch auch unterhalb des Argonübergangs entnommen werden. Ein entsprechender Seitenstrom stellt dabei insbesondere ein Gasgemisch dar, das einen höheren Argongehalt aufweist als die Sumpfflüssigkeit und einen geringeren Argongehalt als das Kopfgas.
- Ein wesentlicher Aspekt der vorliegenden Erfindung ist, dass durch Kondensieren von Kopfgas der ersten Kolonne eine Rücklaufflüssigkeit gebildet wird, und dass diese Rücklaufflüssigkeit flüssig auf die erste Kolonne zurückgeführt wird. Die Bildung der Rücklaufflüssigkeit "unter Verwendung" des Kopfgases kann dabei insbesondere umfassen, Kopfgas gasförmig aus der ersten Kolonne zu entnehmen, dieses in einem auch nachfolgend noch im Detail erläuterten Kondensatorverdampfer zumindest

teilweise zu verflüssigen, und einen flüssigen Anteil zumindest teilweise auf die erste Kolonne zurückzuführen.

Erfindungsgemäß wird zum erläuterten Kondensieren des Kopfgases der ersten  
5 Kolonne ein flüssiger Kühlstrom im indirekten Wärmetausch gegen das Kopfgas  
verdampft oder teilverdampft. Bei der Verdampfung oder Teilverdampfung des  
Kühlstroms gebildetes Gas (evtl. verbleibende Flüssigkeit kann vorab abgeschieden  
werden) wird ferner erfindungsgemäß arbeitsleistend auf einen Druck in dem zweiten  
10 Druckbereich, also den Betriebsdruck der zweiten Kolonne, entspannt und in die zweite  
Kolonnen eingespeist. Bei dem entsprechend entspannten Gas kann es sich um einen  
Teil des bei der Verdampfung oder Teilverdampfung gebildeten Gases oder auch nur  
einen Teil hiervon handeln. Der flüssige Kühlstrom kann insbesondere auf einem Druck  
in dem ersten Druckbereich bereitgestellt und vor der Verdampfung oder  
15 Teilverdampfung, beispielsweise mittels eines Ventils, auf einen etwas geringeren  
Druck, beispielsweise in einem Bereich zwischen dem ersten Druckbereich und dem  
zweiten Druckbereich, entspannt werden. Eine weitere Entspannung nach der  
Verdampfung auf einen Druck in dem zweiten Druckbereich vor der Einspeisung in die  
zweite Kolonne erfolgt dann stromab der Verdampfung in der erwähnten  
arbeitsleistenden Form.

20 Durch die vorliegende Erfindung wird in einer Alternative ein Verfahren mit geringerer  
Energieaufnahme als bisher in Entwicklung befindliche Verfahren geschaffen. Dies gilt  
insbesondere im Vergleich zu bekannten sogenannten SPECTRA-Verfahren und  
Varianten hiervon. Die vorliegende Erfindung kann aber auch, wie beispielsweise im  
25 Zusammenhang mit Figur 4 erläutert, in Verbindung mit einem derartigen SPECTRA-  
Verfahren bzw. einer Variante hiervon zum Einsatz kommen.

Ein SPECTRA-Verfahren ist beispielsweise aus der EP 2 789 958 A1 und der dort  
zitierten Patentliteratur bekannt. Es handelt sich hierbei in der einfachsten Form um ein  
30 Einkolonnenverfahren. Ein SPECTRA-Verfahren kann aber auch um eine Sauerstoff-  
und Argongewinnung erweitert werden, indem weitere Kolonnen bereitgestellt werden.  
SPECTRA-Verfahren ermöglichen eine relativ hohe Stickstoffausbeute.

Aus der Rektifikationskolonne zur Stickstoffgewinnung, die auch mit der Hauptmenge  
35 der Einsatzluft gespeist wird, wird tiefkalte, gegenüber atmosphärischer Luft an

- Sauerstoff angereicherte Flüssigkeit in Form eines oder mehrerer Stoffströme entnommen und in Kondensatorverdampfer erwärmt, der zur Abkühlung und Kondensation zumindest eines Anteils des Kopfgases derselben Kolonne verwendet wird. Entsprechend kondensiertes Kopfgas wird zumindest zum Teil auf die Kolonne
- 5 zurückgeführt, aus der es zuvor entnommen wurde. Das zu verdampfende Fluid kann in herkömmlichen SPECTRA-Verfahren in Form nur eines Stoffstroms oder in Form zweier oder mehrerer getrennter erster Stoffströme durch den Kondensatorverdampfer geführt werden.
- 10 Das entsprechend verdampfte Fluid wird zu einem Teil unter Verwendung eines oder mehrerer Verdichter kalt, d.h. auf einem Temperaturniveau deutlich unterhalb von 0°C, insbesondere auf einem Temperaturniveau von -50 °C oder weniger, verdichtet und danach in die Kolonne zurückgespeist, aus der es zuvor entnommen wurde. Der eine oder die mehreren Verdichter kann bzw. können mit einer oder mit mehreren
- 15 Entspannungsmaschinen, insbesondere mit einer von zwei parallel angeordneten Entspannungsmaschinen, gekoppelt sein und zumindest teilweise unter Verwendung dieser angetrieben werden. In der oder den Entspannungsmaschinen wird ein weiterer Teil des verdampften Fluids entspannt und aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet.
- 20 Insbesondere beruht die vorliegende Erfindung auf der Erkenntnis, dass das Potential eines gattungsgemäßen Verfahrens ohne die erfindungsgemäß vorgeschlagenen Maßnahmen nicht vollständig ausgeschöpft wird. Ein Indikator dafür ist bzw. war eine in derartigen gattungsgemäßen Verfahren vorliegende, noch immer relativ hohe Temperaturdifferenz in einem Kondensator, der Kopfgas der unter höchstem Druck
- 25 arbeitenden ersten Rektifikationskolonne kondensiert. In bisherigen Konzepten wurde dieser Kondensator wegen der Anforderungen an den Stickstoff-Produktdruck und damit das erste Druckniveau (beispielsweise 11 bar; die Einsatzluft wird entsprechend hoch verdichtet) als Badkondensator mit einem relativ hohen hydrostatischen Druckverlust von ca. 150-200 mbar und einer mittleren Temperaturdifferenz von 2,5 K
- 30 (oder mehr) konzipiert. Dadurch wird in einem entsprechenden Prozess relativ viel an Exergie "vernichtet", was im Rahmen der vorliegenden Erfindung nicht der Fall ist.
- Eine weiterer (als Nachteil zu sehender) Punkt bei nicht erfindungsgemäßen, alternativen Konzepten, die auf einer von SPECTRA-Verfahren abweichenden
- 35 Prozesstopologie mit mehreren Rektifikationskolonnen basieren, ist die zur Erzeugung

der Kälteleistung vorgesehene Einblasung von Luft (ca. 10-15% der Einsatzluftmenge) in die unter mittlerem Druck

arbeitende zweite Rektifikationskolonne. Diese Luftmenge wird nicht der Rektifikation in der ersten (Haupt-)Rektifikationskolonne zur Gewinnung von Hochdruck-

5 Stickstoffprodukt unterworfen, so dass eine entsprechende Lösung zwangsläufig mit entsprechenden Nachteilen bei der Stickstoff-Ausbeute verbunden ist.

Durch die erfindungsgemäß vorgeschlagenen Maßnahmen ist eine entsprechende Einblasung von Einsatzluft, die im Wesentlichen zur Gewinnung von Kälte vorgesehen  
10 ist, wurde, nicht mehr erforderlich, da stattdessen das im Kondensatorverdampfer verdampfte Kühlfluid verwendet werden kann. Dieses stammt vorteilhafterweise aus Sumpfflüssigkeit der ersten Rektifikationskolonne und hat daher bereits an der dort stattfindenden Rektifikation teilgenommen. Damit erhöht sich die Effizienz und Ausbeute in dem erfindungsgemäß vorgeschlagenen Verfahren.

15

Die vorliegende Erfindung schlägt, mit anderen Worten, vor, dass zur Erzeugung der Prozesskälteleistung nicht (oder zumindest nicht ausschließlich) ein Einsatzluftstrom in die zweite Rektifikationskolonne verwendet wird, sondern ein in einem Kondensatorverdampfer (Kopfkondensator) der ersten Rektifikationskolonne  
20 verdampfender Strom, nämlich der hier als "Kühlstrom" bezeichnete Stoffstrom. Ein wesentlicher Aspekt der vorliegenden Erfindung besteht dabei unter anderem in der Ausnutzung des Differenzdrucks zwischen dem Betriebsdruck der zweiten Rektifikationskolonne (also dem entsprechenden dem zweiten Druckbereich) und dem Verdampfungsdruck in dem zur Kondensation des Kopfgases verwendeten  
25 Kondensator zur Erzeugung der Kälte und dem Reduzieren der Luft-"Einblasemenge" in die zweite Rektifikationskolonne.

30

Der Verdampfungsdruck in dem genannten Kondensator wird umso höher (und damit umso besser für den Prozess der Kälteerzeugung), je geringer die Temperaturdifferenz im Kondensator ist. Der Kondensator ist daher vorteilhafterweise nicht als Badkondensator, sondern insbesondere als Forced-Flow-Kondensator mit möglichst geringer minimaler Temperaturdifferenz ausgeführt.

35

Zur Erzielung der genannten Vorteile wird also, mit anderen Worten, der zuvor erwähnte Kühlstrom (der zur Kälteleistung anstelle Luft entspannt wird)

vorteilhafterweise unter Verwendung zumindest eines Anteils der ersten Sumpfflüssigkeit gebildet und/oder zum Kondensieren des Kopfgases der ersten Kolonne und zum Verdampfen des Kühlstroms wird vorteilhafterweise ein Forced-Flow-Kondensatorverdampfer verwendet. Zum Begriff des "Forced-Flow-Kondensatorverdampfers" sei auf die obigen Erläuterungen ausdrücklich verwiesen.

In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung, die auf diese Weise Teil eines SPECTRA-Verfahrens ist, wird zum Kondensieren des Kopfgases der ersten Kolonne ferner ein weiterer flüssiger Kühlstrom im indirekten Wärmetausch gegen das Kopfgas verdampft oder teilverdampft, wobei der weitere Kühlstrom oberhalb des Sumpfs aus der ersten Kolonne entnommen und nach der Verdampfung oder Teilverdampfung zumindest zum Teil verdichtet und in die erste Kolonne zurückgeführt wird. Die Verdichtung des verdampften weiteren Kühlstroms oder eines Teils hiervon erfolgt insbesondere in einem oder mehreren Verdichtern, der oder die mit einer oder mit mehreren Entspannungsmaschinen mechanisch gekoppelt sind und insbesondere zusätzlich gebremst werden. Die Verdichtung erfolgt insbesondere auf einem Temperaturniveau unterhalb von 0 °C, insbesondere unterhalb von -50 °C, beispielsweise bei -100 bis -150 °C. Die eine oder die mehreren Entspannungsmaschinen verdichten insbesondere einen verbleibenden Rest des aus Sumpfflüssigkeit der ersten Kolonne gebildeten Kühlstroms, der nicht verdichtet und in die zweite Kolonne zurückgeführt wird. Dieser verdichtete Rest wird insbesondere auf einen Druck in dem ersten Druckbereich verdichtet und in die erste Kolonne zurückgeführt.

Der erwähnte erste Druckbereich liegt im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere bei 9 bis 12 bar, der zweite Druckbereich insbesondere bei 4 bis 6,5 bar und der dritte Druckbereich insbesondere bei 1 bis 2 bar. Der dritte Druckbereich kann aber auch weiter abgesenkt werden, insbesondere um 50 bis 200 mbar, beispielweise gegenüber dem eingangs in Bezug auf herkömmliche Luftzerlegungsanlagen genannten Druckwert von 1,4 bar. Entsprechend kann auch der zweite Druckbereich um 120 bis 500 mbar, beispielweise gegenüber dem eingangs genannten Wert von 5,3 bar, abgesenkt werden. Eine entsprechende Druckabsenkung ist insbesondere möglich, wenn, wie unten erläutert, Gas aus einem Verdampfungsraum eines Kondensatorverdampfers, der Kopfgas der vierten Kolonne kondensiert, als

Regeneriergas verwendet wird. Dabei wird auch die treibende Temperaturdifferenz in diesem Kondensatorverdampfer verringert.

Bei der Druckabsenkung auf die genannten Werte bzw. der weiteren Druckabsenkung  
5 kann durch die Vergrößerung der Druckdifferenz zwischen dem ersten Druckbereich  
und dem zweiten Druckbereich bzw. die Absenkung des Austrittsdrucks bei der  
Entspannung die Kälteleistung entsprechend erhöht werden. Wie erwähnt, bezeichnen  
die Druckangaben hier jeweils Absolutdrücke am Kopf der Kolonnen. Der erste  
Druckbereich liegt damit oberhalb eines Drucks, der herkömmlicherweise für eine  
10 Hochdruckkolonne in einer Luftzerlegungsanlage verwendet wird. Die zweite Kolonne  
kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere auf einem niedrigeren  
Druckbereich betrieben werden als die herkömmlicherweise in einer  
Luftzerlegungsanlage eingesetzte Hochdruckkolonne. Es kann sich aber grundsätzlich  
auch um den gleichen Druck handeln.

15  
Durch den Einsatz der vorliegenden Erfindung ist insbesondere dann, wenn der zum  
Kondensieren des Kopfgases der ersten Kolonne und zum Verdampfen des  
Kühlstroms verwendete Kühlstrom unter Verwendung der ersten Sumpfflüssigkeit der  
ersten Kolonne gebildet wird, aufgrund der vorhandenen Druckverhältnisse keine  
20 Pumpe zum Fördern von flüssigem Stickstoff notwendig. Damit erfolgt ein geringerer  
Wärmeeintrag ins Tieftemperatursystem und eine im Gegensatz zur grundsätzlich  
ebenfalls möglichen Verwendung eines sauerstoffreicheren Fluids liegt eine höhere  
treibende Temperaturdifferenz im wegen des geringeren Sauerstoffgehalts in der  
verdampfenden Flüssigkeit vor. Dadurch wird ein höherer Verdampfungsdruck  
25 ermöglicht und die Turbinenleistung wird entsprechend erhöht.

Die mit den erfindungsgemäßen Maßnahmen erzielte Turbinenleistung (Prozess-  
Kälteleistung) ist insbesondere ausreichend für "Gas"-Anlagen mit einer  
verhältnismäßig geringfügigen Flüssigproduktion, beispielsweise bei einem geforderten  
30 Stickstoff-Produktdruck von 11 bar (der dann auch dem Druck in dem ersten  
Druckbereich entspricht). In einer derartigen Konstellation ist keine weitere Turbine  
erforderlich. In dieser Konstellation ist ferner keine Einblasung von Luft in die zweite  
Kolonne erforderlich bzw. kein Bypass der ersten Kolonne. Eine zusätzliche Turbine  
kann jedoch in einem Betriebsfall mit relativ hoher Flüssigproduktion gleichwohl  
35 eingesetzt werden.

In dem erfindungsgemäß vorgeschlagenen Verfahren wird der ersten Rektifikationskolonne insbesondere ein stickstoffreiches Gas als Produkt entnommen, erwärmt und aus der Anlage auf einem Druck in dem ersten Druckbereich ausgeführt.

5 Auf diese Weise kann ohne weitere Verdichtung ein Stickstoffprodukt in einem entsprechenden Druckbereich bereitgestellt werden.

Insgesamt kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung gegenüber der erwähnten, ebenfalls möglichen Entspannung von Einsatzluft statt des verdampften Kühlstroms,  
10 ein Energievorteil von 5-6%, bezogen auf die Leistung des Hauptluftverdichters, durch eine Erhöhung der Ausbeute an Stickstoffprodukt und der Rückgewinnung von Turbinenleistung erzielt werden. Dies kann einer verminderten Energieaufnahme von beispielsweise ca. 500 kW und damit einer TCO-(Total Cost of Ownership)-Kostenreduzierung von über 1 Mio. EUR entsprechen. Durch die erfindungsgemäß  
15 vorgeschlagenen Maßnahmen ist insgesamt eine geringere Luft-Einsatzmenge erforderlich, was zu einem kleineren "warmen" Anlagenteil führt. Damit ist auch ein kleinerer Hauptwärmetauscher (der kF-Wert ist bei gleichem MTD-Wert um ca. 6% geringer) verwendbar. Wird ein Forced Flow-Kondensatorverdampfer verwendet, erfolgt aufgrund des relativ hohen Verdampfungsdrucks (typischerweise mehr als 7  
20 bar) keine Anreicherung von brennbaren Kohlenwasserstoffen.

Die vorliegende Erfindung kann unterschiedliche Möglichkeiten zur Temperierung oder Nichttemperierung des Kühlstroms vorsehen, die jeweils gewisse energetische Vorteile bieten können. So kann das bei der Verdampfung oder Teilverdampfung des  
25 Kühlstroms gebildete Gas, das arbeitsleistend entspannt und in die zweite Kolonne eingespeist wird, vor der Entspannung erwärmt werden. Hierzu kann insbesondere der Hauptwärmetauscher der Luftzerlegungsanlage verwendet werden. Auf diese Weise kann mittels entsprechender Kälte eine Abkühlung von Einsatzströmen vorgenommen und das Wärmetauscherprofil entsprechend angepasst werden. Das bei der  
30 Verdampfung oder Teilverdampfung des Kühlstroms gebildete Gas, das arbeitsleistend entspannt und in die zweite Kolonne eingespeist wird, kann aber auch auf einer Temperatur, bei der es nach der Verdampfung oder Teilverdampfung vorliegt, der Entspannung zugeführt werden; es erfolgt also in dieser Ausgestaltung keine weitere Temperierung.

35

In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die unter gegebenen Randbedingungen ebenfalls energetische Vorteile bieten kann, kann das bei der Verdampfung oder Teilverdampfung des Kühlstroms gebildete Gas, das arbeitsleistend entspannt und in die zweite Kolonne eingespeist wird, auf einer Temperatur, auf der er  
5 einer zur Entspannung verwendeten Entspannungsmaschine entnommen wird, in die zweite Kolonne eingespeist werden. Alternativ kann auch nach der Entspannung eine Erwärmung erfolgen.

Kopfgas der vierten Kolonne wird im Rahmen einer besonders bevorzugten  
10 Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung zumindest zu einem Teil in einem Kondensationsraum eines Kondensatorverdampfers kondensiert, dessen Verdampfungsraum ein Gasgemisch entnommen wird.

Ein Teil dieses Gasgemischs und/oder auch zumindest ein Teil des Restgases aus  
15 dem oberen Bereich der dritten Kolonne, also zumindest ein Teil eines Gasgemischs, welches aus der dritten Kolonne entnommen wird, kann in einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung zur Bildung eines Rückführstroms verwendet und dabei erwärmt, verdichtet, abgekühlt und in die zweite Kolonne eingespeist werden. Zum Erwärmen und Abkühlen des erwähnten Rückführstroms kann im Rahmen der  
20 vorliegenden Erfindung insbesondere der Hauptwärmetauscher der Luftzerlegungsanlage verwendet werden.

Insbesondere kann ein (weiterer) Teil des Gasgemisches aus dem Verdampfungsraum des Kondensatorverdampfers auch als Regeneriergas für einen Adsorber verwendet  
25 werden, in dem Einsatzluft, die dem Kolonnensystem zugeführt wird, aufbereitet wird. Dies kann insbesondere bei einem entsprechenden Verdampfungsdruck erfolgen. Der erwähnte Adsorber wird insbesondere ohne Verwendung von Regeneriergas betrieben, das aus der dritten Kolonne entnommen und in gleicher Zusammensetzung wie dort dem Adsorber zugeführt wird. Beispielsweise kann aber Gas aus dem oberen  
30 Bereich der dritten Kolonne und Gas aus dem unteren Bereich dieser Kolonne vereinigt und als ein gemeinsamer Strom im Hauptwärmetauscher angewärmt und als Regeneriergas verwendet werden.

In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird zumindest ein Teil  
35 des Gasgemischs, das dem Verdampfungsraum des Kondensatorverdampfers

entnommen wird, als ein erster Regeneriergasanteil verwendet, und zumindest ein Teil des Gases bzw. des erwähnten Gasgemischs, welches aus der dritten Kolonne entnommen wird, wird als ein zweiter Regeneriergasanteil verwendet. In diesem Fall wird insbesondere der zweite Regeneriergasanteil auf einem geringeren Druck als der  
5 erste bereitgestellt, verdichtet und mit dem ersten Regeneriergasanteil vereinigt, bevor er dem Adsorber zugeführt wird. Es wird also Restgas aus der dritten Kolonne und Gas aus einem Kopfkondensator der Argonkolonne vereinigt.

Die soeben erläuterte Ausgestaltung hat insbesondere dann Vorteile, wenn keine  
10 Kältemaschine bei der Vorkühlung eingesetzt wird und daher der Regeneriergasbedarf vergleichsweise hoch ausfällt. In derartigen Fällen kann es dazu kommen, dass die Gasmenge aus dem Kondensatorverdampfer als Regeneriergasmenge nicht ausreicht. Daher wird ein Teilstrom des Restgases aus der Niederdruckkolonne (also der dritten  
15 Kolonne) nachverdichtet (die Druckdifferenz beträgt ca. 50 bis 200 mbar) und mit dem anderen Strom zusammengeführt. Vorteile ergeben sich auch dann, wenn die Anforderungen für den Wasserstoffgehalt im gasförmigen Stickstoffprodukt vergleichsweise hoch sind. In derartigen Fällen kann die Lufteintrittstemperatur ins Molsieb (also den Adsorber) nicht beliebig niedrig gewählt werden, da ansonsten die  
20 Wasserstoffentfernung (auf der dafür vorgesehenen speziellen Schicht mit Katalysator im Adsorber) weniger vollständig ist. Auch in solchen Fällen kann u.U. die Gasmenge aus dem Kondensatorverdampfer als Regeneriergasmenge nicht ausreichen.

In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung wird dem Verdampfungsraum des Kondensatorverdampfers, in dessen Kondensationsraum das  
25 Kopfgas der vierten Kolonne zumindest zum Teil kondensiert wird, ein Anteil der ersten Sumpfflüssigkeit zugeführt und einer Teilverdampfung unterworfen, wobei bei dieser Teilverdampfung das zuvor erwähnte Gasgemisch gebildet wird. Mit anderen Worten wird in dieser Ausgestaltung also ein Kopfkondensator einer Rohargonkolonne bzw. der einzigen vorhandenen Argonkolonne unter Verwendung von Sumpfflüssigkeit der  
30 ersten Kolonne gekühlt. Ist eine Reinargonkolonne als fünfte Kolonne vorhanden, kann auch deren Kopfkondensator, wie nachfolgend erläutert, unter Verwendung von entsprechender Sumpfflüssigkeit gekühlt werden.

Generell können verdampfte und unverdampfte Anteile der Sumpfflüssigkeit aus der  
35 ersten Kolonne, die in dem oder den Kondensatorverdampfern der vierten bzw. vierten

und fünften Kolonne verwendet wurden, anschließend auch zumindest teilweise in die dritte Kolonne überführt werden (ggf. abzüglich des im Adsorber verwendeten Anteils), und zwar an einer Position, die dem Sauerstoffgehalt und Argongehalt dieser Fluide entspricht. Die Einspeisung von verdampften und unverdampften Anteilen kann daher  
5 im Wesentlichen an gleicher Stelle in die dritte Kolonne erfolgen. Die genannten Stoffströme können vereinigt oder getrennt voneinander in die dritte Kolonne überführt werden. Damit umfasst das aus der ersten Kolonne in die dritte Kolonne überführte Fluid entsprechende Flüssigkeit, d.h. zumindest einen Teil der ersten Sumpfflüssigkeit, die zur Kühlung des oder der Kopfkondensatoren der vierten oder der vierten und  
10 fünften Kolonne verwendet wurde. Gegebenenfalls kann auf eine Einspeisung von verdampften Anteilen aus dem oder den Kopfkondensatoren auch verzichtet werden und diese verdampften Anteile werden aus dem Verfahren ohne eine Einspeisung in die dritte Kolonne ausgeführt, wie für den Fall des Rückführstroms und des in dem Adsorber verwendeten Anteils erwähnt. Mit der unverdampften Flüssigkeit wird aber  
15 auch in diesem Fall ein Teil der ersten Sumpfflüssigkeit in die dritte Kolonne eingespeist.

Gemäß einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung kann das aus der zweiten Kolonne in die dritte Kolonne eingespeiste Fluid zumindest einen Teil der zweiten  
20 Sumpfflüssigkeit, welcher ohne Verwendung einer Pumpe aus der zweiten Kolonne in die dritte Kolonne überführt wird, umfassen. Entsprechende Sumpfflüssigkeit kann dabei gemäß dieser Ausgestaltung lediglich aufgrund des Druckunterschieds zwischen der zweiten und der dritten Kolonne in die dritte Kolonne überführt werden. Er kann jedoch zuvor bzw. bei der Überführung auch gegen weitere Ströme unter Verwendung  
25 eines Unterkühlungsgegenströmers unterkühlt werden.

Kopfgas kann an einer definierten Entnahmeposition aus der ersten Kolonne entnommen und aus der Luftzerlegungsanlage als Stickstoffdruckprodukt in einem entsprechenden Druckbereich ausgeleitet werden.

30

Wie bereits erwähnt, kann die vorliegende Erfindung in Kombination mit einer Reinargonkolonne verwendet werden, also einer fünften Kolonne, in die Fluid aus der vierten Kolonne überführt wird, wobei das aus der vierten Kolonne überführte Fluid einen Argongehalt aufweist, der höher als in dem aus der dritten Kolonne  
35 entnommenen und zumindest zu einem Anteil in die vierte Kolonne überführten

Gasgemisch ist. Die fünfte Kolonne wird also im Rahmen der vorliegenden Erfindung, wie grundsätzlich aus dem Bereich der Luftzerlegungstechnik bekannt, zur Gewinnung eines entsprechenden Argonprodukts eingesetzt.

- 5 Vorteilhafterweise wird dabei Kopfgas der fünften Kolonne mittels eines weiteren Kondensatorverdampfers kondensiert, in dem ein weiterer Anteil der zweiten Sumpfflüssigkeit einer Teilverdampfung unterworfen wird. Auf die obigen Erläuterungen wird ausdrücklich verwiesen.
- 10 Der Seitenstrom, der im Rahmen der vorliegenden Erfindung mit einem geringeren Sauerstoffgehalt und einem höheren Argongehalt als die dritte Sumpfflüssigkeit gebildet und aus der dritten Kolonne entnommen wird, kann insbesondere unter Erhalt eines an Sauerstoff angereicherten Gasgemischs und einer sauerstoffreichen Flüssigkeit in einer weiteren Kolonne einer Aufbereitung unterworfen werden, wobei
- 15 das an Sauerstoff angereicherte Gasgemisch aus der weiteren Kolonne zumindest zu einem Anteil in die vierte Kolonne eingespeist werden kann. Auf diese Weise gelangt ein Teil des Seitenstroms über den Umweg der weiteren Kolonne in die vierte Kolonne. Die weitere Kolonne ist insbesondere zweiteilig ausgebildet und umfasst zwei
- 20 übereinander angeordnete Teile, die durch einen fluiddichten Trennboden getrennt sind, wobei das an Sauerstoff angereicherte Gasgemisch zumindest am Kopf des oberen Teils, ggf. aber auch am Kopf des unteren Teils, und die sauerstoffreiche Flüssigkeit aus dem Sumpf des unteren Teils entnommen wird. Der Seitenstrom aus der dritten Kolonne wird insbesondere gasförmig in einen unteren Bereich des oberen
- 25 Teils eingespeist. Aus dem Sumpf des oberen Teils wird insbesondere Flüssigkeit entnommen und in die dritte Kolonne zurückgeführt. Sumpfflüssigkeit der vierten Kolonne wird insbesondere am Kopf des oberen Teils als Rücklauf aufgegeben, kann aber auch zu einem Teil auf den unteren Teil als Rücklauf aufgegeben werden. Der untere Teil erfüllt in einer derartigen Anordnung die Funktion einer (Hochrein-)Sauerstoffkolonne. Unterschiedliche Ausgestaltungen sind in den Figuren
- 30 veranschaulicht.

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

35 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.

5

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

#### 10 Figurenbeschreibung

In den Figuren 1 bis 4 sind Luftzerlegungsanlagen gezeigt, die jeweils Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung entsprechen, soweit sie unter den Schutzbereich der Patentansprüche fallen, und ansonsten den technischen Hintergrund und/oder nicht erfindungsgemäße Ausgestaltungen betreffen. Die Luftzerlegungsanlagen gemäß den Figuren 1 bis 4 sind jeweils insgesamt mit den Bezugszeichen 100 bis 400 bezeichnet. Wenngleich die nachfolgenden Erläuterungen sich auf entsprechende Luftzerlegungsanlagen 100 bis 400 beziehen, betreffen diese entsprechenden Verfahren in gleicher Weise. Die in Figur 5 veranschaulichte Luftzerlegungsanlage 500 ist als Variante der in Figur 1 veranschaulichten Luftzerlegungsanlage 100 dargestellt. Die hier veranschaulichten Aspekte können gleichwohl auch anderen Anlagen, insbesondere den Anlagen 200 bis 400, realisiert sein. Die nachfolgenden Erläuterungen, insbesondere zu der Anlage 100 gemäß Figur 1, betreffen die Anlage 500 in gleicher Weise, auch wenn nicht konkret auf diese Bezug genommen wird.

25

Sämtliche in den Figuren 1 bis 4 dargestellten Luftzerlegungsanlagen 100 bis 400 sind mit einem Kolonnensystem ausgestattet, das ungeachtet der unterschiedlichen Ausgestaltung und ggf. unterschiedlichen Anzahl an Kolonnen jeweils insgesamt mit 10 bezeichnet ist. Die Kolonnensysteme 10 weisen dabei jeweils eine erste Kolonne 11, eine zweite Kolonne 12, eine dritte Kolonne 13 und eine vierte Kolonne 14 auf.

30

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.

Die erste Kolonne 11 ist separat zur zweiten Kolonne 12 und zur dritten Kolonne 13  
5 ausgebildet. Die erste Kolonne 11 ist mit einem Kondensatorverdampfer 111  
ausgestattet, der zur Kondensation von Kopfgas der ersten Kolonne 11 verwendet wird  
und in den Ausgestaltungen gemäß den Figuren 1 bis 3 als klassischer  
Kopfkondensator ausgebildet ist. In den Kondensatorverdampfer 111, der in den  
dargestellten Beispielen jeweils als Forced-Flow-Kondensatorverdampfer ausgebildet  
10 ist, wird jeweils Sumpfflüssigkeit aus der ersten Kolonne 11 eingespeist, die ohne  
Verwendung einer Pumpe gefördert wird.

Ein wesentlicher Aspekt der hier veranschaulichten Ausgestaltungen der Erfindung ist  
jeweils, dass durch Kondensieren von Kopfgas der ersten Kolonne 11 eine  
15 Rücklaufflüssigkeit gebildet wird und dass die Rücklaufflüssigkeit auf die erste Kolonne  
11 zurückgeführt wird. Zum Kondensieren des Kopfgases der ersten Kolonne 11 wird  
dabei jeweils ein flüssiger Kühlstrom, der unter Verwendung der erwähnten  
Sumpfflüssigkeit aus der ersten Kolonne 11 gebildet wird, gegen das Kopfgas der  
ersten Kolonne 11 verdampft oder teilverdampft. Bei der Verdampfung oder  
20 Teilverdampfung des Kühlstroms gebildetes Gas wird mittels einer  
Entspannungsmaschine 5 auf einen Druck in dem zweiten Druckbereich arbeitsleistend  
entspannt und in die zweite Kolonne 12 eingespeist.

Die zweite Kolonne 12 und die dritte Kolonne 13 stehen über einen innenliegenden  
25 Kondensatorverdampfer 121, den sogenannten Hauptkondensator, in  
wärmetauschender Verbindung miteinander. Der Hauptkondensator 121 dient  
einerseits zum Kondensieren eines Kopfgases der zweiten Kolonne 12 und  
andererseits zum Verdampfen einer Sumpfflüssigkeit der dritten Kolonne 13. Alternativ  
zu der hier veranschaulichten Ausgestaltung können die zweite Kolonne 12 und die  
30 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.

Die vierte Kolonne 14 dient in allen Luftzerlegungsanlagen 100 bis 400 gemäß den  
35 Figuren 1 bis 4 zur Argongewinnung. In den dargestellten Beispielen ist keine

Rohargonkolonne vorhanden, sondern die Anlagen 100 bis 400 sind jeweils zur Entnahme eines Argonprodukts aus der vierten Kolonne 14 ausgebildet. Zu Roh- und Reinargonkolonnen und entsprechenden Modifikationen sei ebenfalls auf die obigen Zitate aus der Fachliteratur verwiesen.

5

Die vierte Kolonne ist mit einem Kondensatorverdampfer (Kopfkondensator) 141 ausgestattet, der Kopfgas kondensiert. In den Ausgestaltungen gemäß den Figuren 1 bis 3 wird dieser mit einem Teil Sumpfflüssigkeit aus der ersten Kolonne 11 gekühlt, wohingegen in der Ausgestaltung gemäß Figur 4 hierzu Sumpfflüssigkeit aus der  
10 zweiten Kolonne 12 verwendet wird. Die jeweils verwendete Sumpfflüssigkeit wird zuvor durch einen Unterkühlungsgegenströmer 18 unterkühlt. Ein in dem Kopfkondensator 141 unverdampfter Anteil wird in den hier veranschaulichten Beispielen zumindest teilweise in die dritte Kolonne 13 eingespeist. Dagegen wird ein verdampfter Anteil in den hier veranschaulichten Beispielen zur Regeneration eines  
15 Adsorbers und, im Fall der Luftzerlegungsanlage 300 gemäß Figur 3, zur Bildung eines Rückführstroms genutzt, wie nachfolgend noch erläutert.

In sämtlichen Luftzerlegungsanlagen 100 bis 400 gemäß den Figuren 1 bis 4 ist eine weitere Kolonne 15 vorgesehen, in der ein Stoffaustausch zwischen einem Anteil eines  
20 Sumpfstroms aus der vierten Kolonne 14 und einem Seitenstrom aus der dritten Kolonne 13 vorgenommen und ein Anteil des Sumpfstroms aus der vierten Kolonne 14 an leichter flüchtigen Komponenten abgereichert wird. Die weitere Kolonne 15 weist einen oberen und einen unteren Bereich auf, die funktional vollständig voneinander getrennt sind. Weitere Details werden jeweils unten erläutert. Die weitere Kolonne 15  
25 ist mit einem Kondensatorverdampfer 152 ausgebildet, der mit Kopfgas aus der zweiten Kolonne 12 beheizt wird.

Als direkt dem Kolonnensystem 10 zugeordnete Komponente ist in sämtlichen Luftzerlegungsanlagen 100 bis 300 gemäß den Figuren 1 bis 3 eine Pumpe 19  
30 vorhanden, die Sumpfflüssigkeit aus der vierten Kolonne 14 in die weitere Kolonne 15 zurückbefördert.

In sämtlichen Luftzerlegungsanlagen 100 bis 400 gemäß den Figuren 1 bis 4 wird in der ersten Kolonne 11 eine Sumpfflüssigkeit gebildet, die hier als erste  
35 Sumpfflüssigkeit bezeichnet wird. In der zweiten Kolonne 12 werden entsprechend

eine zweite Sumpfflüssigkeit, in der dritten Kolonne 13 eine dritte Sumpfflüssigkeit und in der vierten Kolonne 14 eine vierte Sumpfflüssigkeit gebildet. Die erste Kolonne 11 wird in einem ersten Druckbereich, die zweite Kolonne 12 in einem zweiten Druckbereich unterhalb des ersten Druckbereichs und die dritte Kolonne 13 in einem dritten Druckbereich unterhalb des zweiten Druckbereichs betrieben. Die die zweite Sumpfflüssigkeit wird mit einem höheren Sauerstoffgehalt und einem höheren Argongehalt als die erste Sumpfflüssigkeit und die dritte Sumpfflüssigkeit mit einem höheren Sauerstoffgehalt und einem geringeren Argongehalt als die zweite Sumpfflüssigkeit gebildet. Zu den Druckbereichen und Sauerstoff- bzw. Argongehalten wird auf die obigen Erläuterungen hierzu verwiesen.

In der nachfolgend erläuterten Weise wird in sämtlichen Luftzerlegungsanlagen 100 bis 400 gemäß den Figuren 1 bis 4 Fluid aus der ersten Kolonne 11 in die zweite Kolonne 12 (und in den Luftzerlegungsanlagen 100 bis 300 gemäß den Figuren 1 bis 3 zudem in die dritte Kolonne 13) eingespeist. Ferner wird Fluid aus der zweiten Kolonne 12 in die dritte Kolonne 13 eingespeist und Fluid wird aus der vierten Kolonne 14 in die dritte Kolonne 13 eingespeist. In sämtlichen Luftzerlegungsanlagen 100 bis 400 gemäß den Figuren 1 bis 4 umfasst das aus der dritten Kolonne 13 in die vierte Kolonne 14 eingespeiste Fluid zumindest einen Teil eines Seitenstroms, der mit einem geringeren Sauerstoffgehalt und einem höheren Argongehalt als die zweite Sumpfflüssigkeit aus der dritten Kolonne 13 entnommen wird. Die anderen genannten Fluide umfassen zumindest in den hier veranschaulichten Ausgestaltungen jeweils zumindest Teile der jeweiligen Sumpfflüssigkeiten. In allen Fällen kann eine direkte Einspeisung oder eine Einspeisung über einen zwischengeschalteten Kopfkondensator oder dergleichen und eine entsprechende Teileinspeisung erfolgen.

Nachfolgend wird zunächst insbesondere die Luftzerlegungsanlage 100 gemäß Figur 1 näher erläutert. Die Erläuterungen zu den Luftzerlegungsanlagen 200, 300 und 400 gemäß den Figuren 2 bis 4 beziehen sich jeweils der Übersichtlichkeit halber nur auf die hiervon abweichenden Merkmale. In den Figuren 2, 3 und 4 sind identische Merkmale auch nur teilweise mit entsprechenden Bezugszeichen versehen.

In der Luftzerlegungsanlage 100 gemäß Figur 1 wird ein Einsatzluftstrom a aus der hier allgemein mit A bezeichneten Atmosphäre mittels eines Hauptluftverdichters 1 über einen nicht gesondert bezeichneten, schraffiert veranschaulichten Filter angesaugt, in

einem ebenfalls nicht gesondert bezeichneten Nachkühler nachgekühlt und einem Direktkontaktkühler 2 zugeführt, der mit Kühlwasser W betrieben wird.

5 Nach der in dem Direktkontaktkühler 2 erfolgten Vorkühlung wird der weiter mit a bezeichnete Einsatzluftstrom in einer Adsorptionseinrichtung 3 in vielfach in der Literatur beschriebener Weise von Wasser und Kohlendioxid befreit. Die Adsorptionseinrichtung 3, zuvor auch allgemein als "Adsorber" bezeichnet, kann mittels eines Regeneriergasstroms z regeneriert werden. Die Bildung des Regeneriergasstroms z wird unten erläutert.

10

Der weiter mit a bezeichnete, entsprechend behandelte und damit aufgereinigte Einsatzluftstrom wird warmseitig einem Hauptwärmetauscher 4 zugeführt. Der Einsatzluftstrom a wird dem Hauptwärmetauscher 4 kaltseitig bzw. nahe an dessen kaltem Ende entnommen und in die erste Kolonne 11 eingespeist.

15

Die Sumpfflüssigkeit der ersten Kolonne 11 wird aus dieser abgezogen und in den Luftzerlegungsanlagen 100 bis 300 gemäß den Figuren 1 bis 3 in zwei Teilströme d und e aufgeteilt. Der Teilstrom d wird hier in den Kondensatorverdampfer 111 eingespeist und dabei verdampft. Anschließend wird der verdampfte Teilstrom d im Hauptwärmetauscher 4 teilerwärmt und danach in einer Entspannungsmaschine 5, die mit einem Generator G gekoppelt ist, auf den Betriebsdruck der zweiten Kolonne 12 entspannt und in einem unteren Bereich in diese zweite Kolonne 12 eingespeist. Die Behandlung der Sumpfflüssigkeit in der Luftzerlegungsanlage 400 gemäß Figur 4 weicht hiervon ab. Auf die spezifischen Erläuterungen unten wird verwiesen.

25

Der Teilstrom e wird dagegen in den Luftzerlegungsanlagen 100 bis 300 gemäß den Figuren 1 bis 3 durch den Unterkühlungsgegenströmer 18 und anschließend durch den Kondensatorverdampfer 141 geführt. Ein Teil kann auch, wie in Form einer Verknüpfung f veranschaulicht, in die zweite Kolonne 12 eingespeist werden. In dem Kopfkondensator 141 gebildetes Gas kann als der bereits erwähnte Regeneriergasstrom z verwendet werden. Es wird dazu zunächst in dem Unterkühlungsgegenströmer 18 und danach im Hauptwärmetauscher 4 erwärmt. Ein flüssig verbleibender Anteil wird, wie hier in Form eines Stoffstroms g veranschaulicht, in die dritte Kolonne 13 eingespeist. In der Luftzerlegungsanlage 400 gemäß Figur 4

30

wird kein entsprechender Teilstrom e oder f gebildet. Auch hier sei auf die spezifischen Erläuterungen unten ausdrücklich verwiesen.

5 Das Kopfgas der ersten Kolonne 11 wird teilweise in Form eines Stoffstroms h durch den Kondensationsraum des Kopfkondensators 111 geführt und als flüssiger Rücklauf auf die erste Kolonne 11 zurückgeführt. Ein weiterer Anteil wird in Form eines Stoffstroms i im Hauptwärmetauscher 4 erwärmt und als gasförmiges Stickstoffdruckprodukt aus der Luftzerlegungsanlage 100 ausgeleitet oder anderweitig verwendet.

10

Die Sumpfflüssigkeit der zweiten Kolonne 12 wird aus dieser in Form eines Stoffstroms j abgezogen, durch den Unterkühlungsgegenströmer 18 geführt, und in die dritte Kolonne 13 eingespeist. In der Luftzerlegungsanlage 400 gemäß Figur 4 wird der Stoffstrom j alternativ zu dem Stoffstrom e (siehe oben) zur Kühlung durch den  
15 Kondensatorverdampfer 141 geführt. In dem Kopfkondensator 141 der Luftzerlegungsanlage 400 gebildetes Gas kann auch hier als Regeneriergasstrom verwendet werden, der der Einfachheit halber ebenfalls mit z bezeichnet ist. In der Luftzerlegungsanlage 400 gemäß Figur 4 wird ferner Gas aus dem Kopfkondensator 141 bzw. dessen Verdampfungsraum in die dritte Kolonne 13 eingespeist werden. Ein  
20 flüssig verbleibender Anteil wird, wie in Figur 4 ebenfalls in Form eines Stoffstroms g veranschaulicht, in die dritte Kolonne 13 eingespeist.

Das Kopfgas der zweiten Kolonne 12 wird teilweise in Form eines Stoffstroms k durch den Kondensationsraum des Hauptkondensators 121 geführt, dort verflüssigt und  
25 wiederum zum Teil als flüssiger Rücklauf auf die zweite Kolonne 12 zurückgeführt. Ein weiterer Anteil wird in Form eines Stoffstroms l im Kondensationsraum des Kondensatorverdampfers 152 verflüssigt. Dieser weitere Anteil wird in den Luftzerlegungsanlagen 100 bis 300 gemäß den Figuren 1 bis 3 mit dem im Kondensationsraum des Hauptkondensators 121 verflüssigten Anteil vereinigt, wie in  
30 Form der Verknüpfung l veranschaulicht. Entsprechende Flüssigkeit kann auch mittels einer Pumpe 6 als Rücklauf auf die erste Kolonne 11 aufgegeben werden. Die Pumpe 6 fördert in den Ausgestaltungen gemäß den Figuren 1 bis 3 einen flüssigen, stickstoffreichen Strom b, der in einem oberen Bereich aus der zweiten Kolonne 12 entnommen wird. Ein weiterer Anteil von Kopfgas aus der zweiten Kolonne 12 wird in

den Beispielen gemäß den Figuren 1 bis 3 in Form eines Stoffstroms c aus der Anlage ausgeführt.

- 5 In der Ausgestaltung der Luftzerlegungsanlage 400 gemäß Figur 3 erfolgt keine Vereinigung des verflüssigten Anteils des Stoffstroms k und des Stoffstroms l. Vielmehr werden hier Anteile des Stoffstroms k nach der Verflüssigung getrennt voneinander auf die zweite Kolonne 12 und die dritte Kolonne 13 aufgegeben. Die Einspeisung des Stoffstroms l erfolgt separat dazu in die dritte Kolonne 13.
- 10 Die Sumpfflüssigkeit der dritten Kolonne 13 wird aus dieser in Form eines Stoffstroms o abgezogen, mittels einer Innenverdichtungspumpe 7 flüssig auf Druck gebracht, in dem Hauptwärmetauscher 4 durch Erwärmen in den gasförmigen oder kritischen Zustand überführt und als gasförmiges Sauerstoffdruckprodukt aus der
- 15 Sumpfs aus der dritten Kolonne 13 in Form eines Stoffstroms p entnommenes Gas wird dagegen mit Restgas aus der dritten Kolonne 13 (siehe unten) zu einem Sammelstrom q vereinigt, der anschließend im Hauptwärmetauscher 4 erwärmt und als aus der Luftzerlegungsanlage 100 ausgeleitet oder anderweitig verwendet wird.
- 20 Das Kopfgas der dritten Kolonne 13 wird in Form eines Stoffstroms r durch den Unterkühlungsgegenströmer 18 geführt und in den Luftzerlegungsanlagen 100 bis 300 gemäß den Figuren 1 bis 3 mit dem Stoffstrom o wie erwähnt zu dem Sammelstrom q vereinigt. In der Luftzerlegungsanlage 400 gemäß Figur 4 erfolgt eine separate
- 25 Ausleitung.
- Aus der dritten Kolonne 13 wird ferner ein Seitenstrom t gasförmig abgezogen und zunächst in einen oberen Teil der weiteren Kolonne 15 eingespeist. Aus dem oberen Teil der weiteren Kolonne 15 wird dagegen ein Stoffstrom u flüssig in die dritte Kolonne 13 zurückgeführt. In dem oberen Teil der weiteren Kolonne 15 wird dabei ein
- 30 Stoffaustausch mit Sumpfflüssigkeit aus der vierten Kolonne 14 vorgenommen, die in den Luftzerlegungsanlagen 100 bis 300 gemäß den Figuren 1 bis 3 in Form eines Stoffstroms v in den oberen und den unteren Teil der weiteren Kolonne 15 flüssig aufgegeben wird. In der Luftzerlegungsanlage 400 gemäß Figur 4 erfolgt eine Einspeisung des Stoffstroms v nur in den oberen Teil der weiteren Kolonne 15.

Im unteren Teil der weiteren Kolonne 15 werden leichter flüchtige Komponenten durch Erwärmen mittels des Kondensatorverdampfers 152 ausgetrieben. Aus dem oberen und dem unteren Teil der weiteren Kolonne 15 wird jeweils Gas abgezogen, das in den Luftzerlegungsanlagen 100 bis 300 gemäß den Figuren 1 bis 3 in Form eines

5 Stoffstroms  $w$  in die vierte Kolonne 14 eingespeist wird. In der Luftzerlegungsanlage 400 gemäß Figur 4 wird dagegen die vierte Kolonne 14 nur mit einem Gasstrom  $w'$  aus dem oberen Teil der weiteren Kolonne 15 gespeist. Ein Gas- und Flüssigkeitsaustausch zwischen dem oberen und dem unteren Teil der weiteren

10 Kolonne 15 erfolgt hier in Form der Stoffströme  $w''$  und  $w'''$ . Somit wird ein Teil des Seitenstroms  $t$  letztlich in die vierte Kolonne 14 eingespeist und aus dieser letztlich ein Teil der Sumpfflüssigkeit in die dritte Kolonne 13 zurückgeführt. Die weitere Kolonne 15 kann in sämtlichen hier veranschaulichten Beispielen beispielsweise auch jeweils oberhalb des Kopfkondensators 111 der ersten Kolonne 11 angeordnet sein.

15 Sumpfflüssigkeit aus dem unteren Teil der weiteren Kolonne 15 wird in Form eines Stoffstroms  $x$  abgezogen und im dargestellten Beispiel in ein Tanksystem T eingespeist. Bei Bedarf wird aus dem Tanksystem T ein der Übersichtlichkeit halber ebenfalls mit  $x$  bezeichneter Stoffstrom entnommen, in dem Hauptwärmetauscher 4 verdampft und als hochreines, gasförmiges Sauerstoffprodukt ausgeführt.

20 Aus der vierten Kolonne 14 wird in Form eines Stoffstroms  $y$  argonreiche Flüssigkeit entnommen mittels einer weiteren Innenverdichtungspumpe 8 flüssig auf Druck gebracht, in dem Hauptwärmetauscher 4 durch Erwärmen in den gasförmigen oder kritischen Zustand überführt, und als gasförmiges Argondruckprodukt aus der

25 Luftzerlegungsanlage 100 ausgeleitet oder anderweitig verwendet. In der Luftzerlegungsanlage 400 gemäß Figur 4 ist in diesem Zusammenhang ferner ein entsprechendes Tanksystem T' veranschaulicht.

Als weitere Produkte der Anlage 100 können Flüssigstickstoff, Flüssigsauerstoff (ggf. auch mit unterschiedlichen Reinheiten) und Flüssigargon bereitgestellt werden, wie

30 grundsätzlich bekannt und beispielsweise in Form eines Teilstroms des verflüssigten Kopfgases  $h$  der ersten Kolonne 11 dargestellt. In der Ausgestaltung der Luftzerlegungsanlage 400 gemäß Figur 4 ist ferner eine Flüssigstickstoffeinspeisung in den Kondensatorverdampfer 111 anhand eines Stoffstroms  $h'$  dargestellt.

Die in Figur 2 veranschaulichte, gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ausgebildete Luftzerlegungsanlage 200 unterscheidet sich von der in Figur 1 gezeigten Luftzerlegungsanlage im Wesentlichen dadurch, dass der Stoffstrom d vor dessen Entspannung in der Entspannungsmaschine 8 nicht erwärmt wird.

5

Die in Figur 3 veranschaulichte Luftzerlegungsanlage 300 unterscheidet sich von der in Figur 2 gezeigten Luftzerlegungsanlage 200 im Wesentlichen dadurch, dass eine Aufteilung des Stoffstroms z warmseitig des Hauptwärmetauschers 4 vorgenommen wird, wobei ein Teilstrom z' des Stoffstroms z mittels eines Verdichters 9 verdichtet, in  
10 dem Hauptwärmetauscher 4 abgekühlt und in die zweite Kolonne 12 eingespeist wird. Die Luftzerlegungsanlage 300 kann ansonsten auch der in Figur 1 veranschaulichten Luftzerlegungsanlage 100 gleichen.

Die in Figur 4 dargestellte Luftzerlegungsanlage 400 veranschaulicht die  
15 erfindungsgemäß vorgeschlagenen Maßnahmen im Zusammenhang mit einem an sich bekannten SPECTRA-Prozess. Hierbei wird der ersten Kolonne 11 neben dem Sumpfstrom d, der bereits oben erläutert wurde, ein weiterer Stoffstrom d' oberhalb des Sumpfs entnommen und, wie der Stoffstrom d, in dem Hauptwärmetauscher 4 nochmals abgekühlt. Danach erfolgt eine Verdampfung in dem  
20 Kondensatorverdampfer 111.

Der Stoffstrom d wird zu einem Teil in der Entspannungsmaschine 5, die mit einem Generator G gekoppelt ist, entspannt und wie erwähnt (siehe Verknüpfung D) in die zweite Kolonne 12 eingespeist. Der verbleibende Rest des Stoffstroms d wird in dem  
25 Hauptwärmetauscher 4 teilerwärmt und sodann in einer weiteren Entspannungsmaschine 401, die mit einem Verdichter 402 und einer Bremse 403 gekoppelt ist, entspannt. Anschließend erfolgt eine Ausleitung aus der Luftzerlegungsanlage 400. Ein Teil des verflüssigten Stoffstroms h wird flüssig ausgeleitet und ggf. gegen einen Teil desselben Stoffstroms in einem Unterkühler 404  
30 unterkühlt. Der zum Unterkühlen verwendete Anteil kann mit dem entspannten Rest des Stoffstroms d vereinigt werden.

Der Stoffstrom d' wird dagegen nach seiner Verdampfung in dem Kondensatorverdampfer 111 zumindest zum Teil einer Verdichtung in dem Verdichter

402 unterworfen, in dem Hauptwärmetauscher 4 wieder abgekühlt und in die erste Kolonne 11 zurückgeleitet.

5 Wie erwähnt, ist die in Figur 5 dargestellte Luftzerlegungsanlage 500 als Variante der Luftzerlegungsanlage 100 gemäß Figur 4 veranschaulicht. Sie zeichnet sich insbesondere durch die Verwendung eines Gebläses 501 aus, mittels welchem ein Teil des Stoffstroms  $q$ , hier mit  $q'$  bezeichnet, auf den Druck des Stoffstroms  $z$  gebracht und letzterem zugespeist wird.

10 Wie erwähnt, ist eine derartige Ausgestaltung insbesondere dann vorteilhaft, wenn keine Kältemaschine bei der Vorkühlung der Einsatzluft eingesetzt wird und der Regeneriergasbedarf daher vergleichsweise hoch ausfällt. Vorteile ergeben sich auch dann, wenn die an den Wasserstoffgehalt im Stickstoffprodukt vergleichsweise hoch sind. Auf die entsprechenden Erläuterungen oben wird verwiesen.

15

Patentansprüche

1. Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft, bei dem eine Luftzerlegungsanlage (100–500) mit einem Kolonnensystem (10) verwendet wird, das eine erste Kolonne (11), eine zweite Kolonne (12), eine dritte Kolonne (13) und eine vierte Kolonne (14) aufweist, wobei
- 5
- a) in der ersten Kolonne (11) eine erste Sumpfflüssigkeit gebildet wird, in der zweiten Kolonne (12) eine zweite Sumpfflüssigkeit gebildet wird, in der dritten Kolonne (13) eine dritte Sumpfflüssigkeit gebildet wird und in der vierten Kolonne (14) eine vierte Sumpfflüssigkeit gebildet wird,
- 10
- b) die erste Kolonne (11) in einem ersten Druckbereich betrieben wird, die zweite Kolonne (12) in einem zweiten Druckbereich unterhalb des ersten Druckbereichs betrieben wird und die dritte Kolonne (13) in einem dritten Druckbereich unterhalb des zweiten Druckbereichs betrieben wird,
- 15
- c) die zweite Sumpfflüssigkeit mit einem höheren Sauerstoffgehalt und einem höheren Argongehalt als die erste Sumpfflüssigkeit gebildet wird und die dritte Sumpfflüssigkeit mit einem höheren Sauerstoffgehalt und einem geringeren Argongehalt als die zweite Sumpfflüssigkeit gebildet wird,
- 20
- d) Fluid aus der ersten Kolonne (11) zumindest in die zweite Kolonne (12), Fluid aus der zweiten Kolonne (12) zumindest in die dritte Kolonne (13), Fluid aus der dritten Kolonne (13) in die vierte Kolonne (14) und Fluid aus der vierten Kolonne (14) zumindest in die dritte Kolonne (13) eingespeist wird, und
- 25
- e) das aus der dritten Kolonne (13) in die vierte Kolonne (14) eingespeiste Fluid zumindest einen Teil eines Seitenstroms umfasst, der mit einem geringeren Sauerstoffgehalt und einem höheren Argongehalt als die dritte Sumpfflüssigkeit aus der dritten Kolonne (13) entnommen wird,
- 30

**dadurch gekennzeichnet, dass**

- f) durch Kondensieren von Kopfgas der ersten Kolonne (11) eine Rücklaufflüssigkeit gebildet wird und die Rücklaufflüssigkeit flüssig auf die erste Kolonne (11) zurückgeführt wird,
- 5 g) zum Kondensieren des Kopfgases der ersten Kolonne (11) ein flüssiger Kühlstrom im indirekten Wärmetausch gegen das Kopfgas verdampft oder teilverdampft wird, und
- 10 h) bei der Verdampfung oder Teilverdampfung des Kühlstroms gebildetes Gas auf einen Druck in dem zweiten Druckbereich arbeitsleistend entspannt und in die zweite Kolonne (12) eingespeist wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Kühlstrom unter Verwendung zumindest eines Anteils der ersten Sumpfflüssigkeit gebildet wird.
- 15 3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem zum Kondensieren des Kopfgases der ersten Kolonne (11) ein weiterer flüssiger Kühlstrom im indirekten Wärmetausch gegen das Kopfgas verdampft oder teilverdampft wird, wobei der weitere Kühlstrom oberhalb des Sumpfs aus der ersten Kolonne (11) entnommen und nach der
- 20 Verdampfung oder Teilverdampfung zumindest zum Teil verdichtet und in die erste Kolonne (11) zurückgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem zum Kondensieren des Kopfgases der ersten Kolonne (11) und zum Verdampfen des Kühlstroms ein
- 25 Forced-Flow-Kondensatorverdampfer verwendet wird.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das bei der Verdampfung oder Teilverdampfung des Kühlstroms gebildete Gas, das entspannt und in die zweite Kolonne (12) eingespeist wird, vor der Entspannung erwärmt
- 30 wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem das bei der Verdampfung oder Teilverdampfung des Kühlstroms gebildete Gas, das arbeitsleistend entspannt und in die zweite Kolonne (12) eingespeist wird, auf einer Temperatur,

bei der er nach der Verdampfung oder Teilverdampfung vorliegt, der Entspannung zugeführt wird.

- 5 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem das bei der Verdampfung oder Teilverdampfung des Kühlstroms gebildete Gas, das arbeitsleistend entspannt und in die zweite Kolonne (12) eingespeist wird, auf einer Temperatur, auf der er einer zur Entspannung verwendeten Entspannungsmaschine (5) entnommen wird, in die zweite Kolonne (12) eingespeist wird.
- 10 8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem Kopfgas der vierten Kolonne (14) zumindest zu einem Teil in einem Kondensationsraum eines Kondensatorverdampfers (141) kondensiert wird, dessen Verdampfungsraum ein Gasgemisch entnommen wird, wobei zumindest ein Teil des Gasgemischs, das dem Verdampfungsraum des Kondensatorverdampfers (141) entnommen wird, zur  
15 Bildung eines Rückführstroms verwendet wird, welcher erwärmt, verdichtet, abgekühlt und in die zweite Kolonne (12) eingespeist wird und/oder als Regeneriergas für einen Adsorber (3) verwendet wird, in dem Einsatzluft aufbereitet wird, die dem Kolonnensystem (10) zugeführt wird, aufbereitet wird.
- 20 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem zumindest ein Teil eines Gasgemischs, welches aus einem oberen Bereich der dritten Kolonne (13) entnommen wird, zur Bildung eines Rückführstroms verwendet wird, welcher erwärmt, verdichtet, abgekühlt und in die zweite Kolonne (12) eingespeist wird.
- 25 10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, bei dem der Adsorber (3), in welchem die Einsatzluft aufbereitet wird, die dem Kolonnensystem (10) zugeführt wird, ohne Verwendung von Regeneriergas betrieben wird, das aus der dritten Kolonne (12) entnommen und in stofflich unveränderter Zusammensetzung dem Adsorber (3) zugeführt wird.
- 30
- 35 11. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem zumindest ein Teil des Gasgemischs, das dem Verdampfungsraum des Kondensatorverdampfers (141) entnommen wird, als ein erster Regeneriergasanteil verwendet wird, und bei dem zumindest ein Teil des Gases, welches aus der dritten Kolonne (13) entnommen wird, als ein zweiter Regeneriergasanteil verwendet wird, wobei der zweite Regeneriergasanteil auf

einem geringeren Druck als der erste bereitgestellt, verdichtet und mit dem ersten Regeneriergasanteil vereinigt wird, bevor er dem Adsorber (3) zugeführt wird.

- 5 12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem beim arbeitsleistenden Entspannen des verdampften oder teilverdampften Kühlstroms oder zumindest dessen Anteils, der arbeitsleistend entspannt und in die zweite Kolonne (12) eingespeist wird, freiwerdende Leistung zum Betrieb eines elektrischen Generators verwendet wird.
- 10 13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der zweite Druckbereich bei 4 bis 6,5 bar liegt.
- 15 14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Seitenstrom, der mit einem geringeren Sauerstoffgehalt und einem höheren Argongehalt als die dritte Sumpfflüssigkeit gebildet und aus der dritten Kolonne (13) entnommen wird, unter Erhalt eines an Sauerstoff angereicherten Gasgemischs und einer Sumpfflüssigkeit einer Aufbereitung in einer weiteren Kolonne (16) unterworfen wird, wobei das an Sauerstoff angereicherte Gasgemisch aus der weiteren Kolonne (16) zumindest zu einem Anteil in die vierte Kolonne (14) eingespeist wird.
- 20
15. Luftzerlegungsanlage (100–500), die ein Kolonnensystem (10) mit einer ersten Kolonne (11), einer zweiten Kolonne (12), einer dritten Kolonne (13) und einer vierten Kolonne (14) aufweist und die dafür eingerichtet ist,
- 25
- a) in der ersten Kolonne (11) eine erste Sumpfflüssigkeit zu bilden, in der zweiten Kolonne (12) eine zweite Sumpfflüssigkeit zu bilden, in der dritten Kolonne (13) eine dritte Sumpfflüssigkeit zu bilden und in der vierten Kolonne (14) eine vierte Sumpfflüssigkeit zu bilden,
- 30
- b) die erste Kolonne (11) in einem ersten Druckbereich zu betreiben, die zweite Kolonne (12) in einem zweiten Druckbereich unterhalb des ersten Druckbereichs zu betreiben und die dritte Kolonne (13) in einem dritten Druckbereich unterhalb des zweiten Druckbereichs zu betreiben,
- 35

c) die zweite Sumpfflüssigkeit mit einem höheren Sauerstoffgehalt und einem höheren Argongehalt als die erste Sumpfflüssigkeit zu bilden und die dritte Sumpfflüssigkeit mit einem höheren Sauerstoffgehalt und einem geringeren Argongehalt als die zweite Sumpfflüssigkeit zu bilden,

5

d) Fluid aus der ersten Kolonne (11) zumindest in die zweite Kolonne (13), Fluid aus der zweiten Kolonne (12) zumindest in die dritte Kolonne (13), Fluid aus der dritten Kolonne (13) zumindest in die vierte Kolonne (14) und Fluid aus der vierten Kolonne (14) zumindest in die dritte Kolonne (13) einzuspeisen, und

10

e) als das aus der dritten Kolonne (13) in die vierte Kolonne (14) eingespeiste Fluid zumindest einen Teil eines Seitenstroms zu verwenden, der mit einem geringeren Sauerstoffgehalt und einem höheren Argongehalt als die dritte Sumpfflüssigkeit aus der dritten Kolonne (13) entnommen wird

15

**gekennzeichnet durch Mittel, die dafür eingerichtet sind,**

f) durch Kondensieren von Kopfgas der ersten Kolonne (11) eine Rücklaufflüssigkeit zu bilden und die Rücklaufflüssigkeit flüssig auf die erste Kolonne (11) zurückzuführen,

20

g) zum Kondensieren des Kopfgases der ersten Kolonne (11) einen flüssigen Kühlstrom im indirekten Wärmetausch gegen das Kopfgas zu verdampfen oder teilzuverdampfen, und

25

h) bei der Verdampfung oder Teilverdampfung des Kühlstroms gebildetes Gas arbeitsleistend auf einen Druck in dem zweiten Druckbereich zu entspannen und in die zweite Kolonne (12) einzuspeisen.

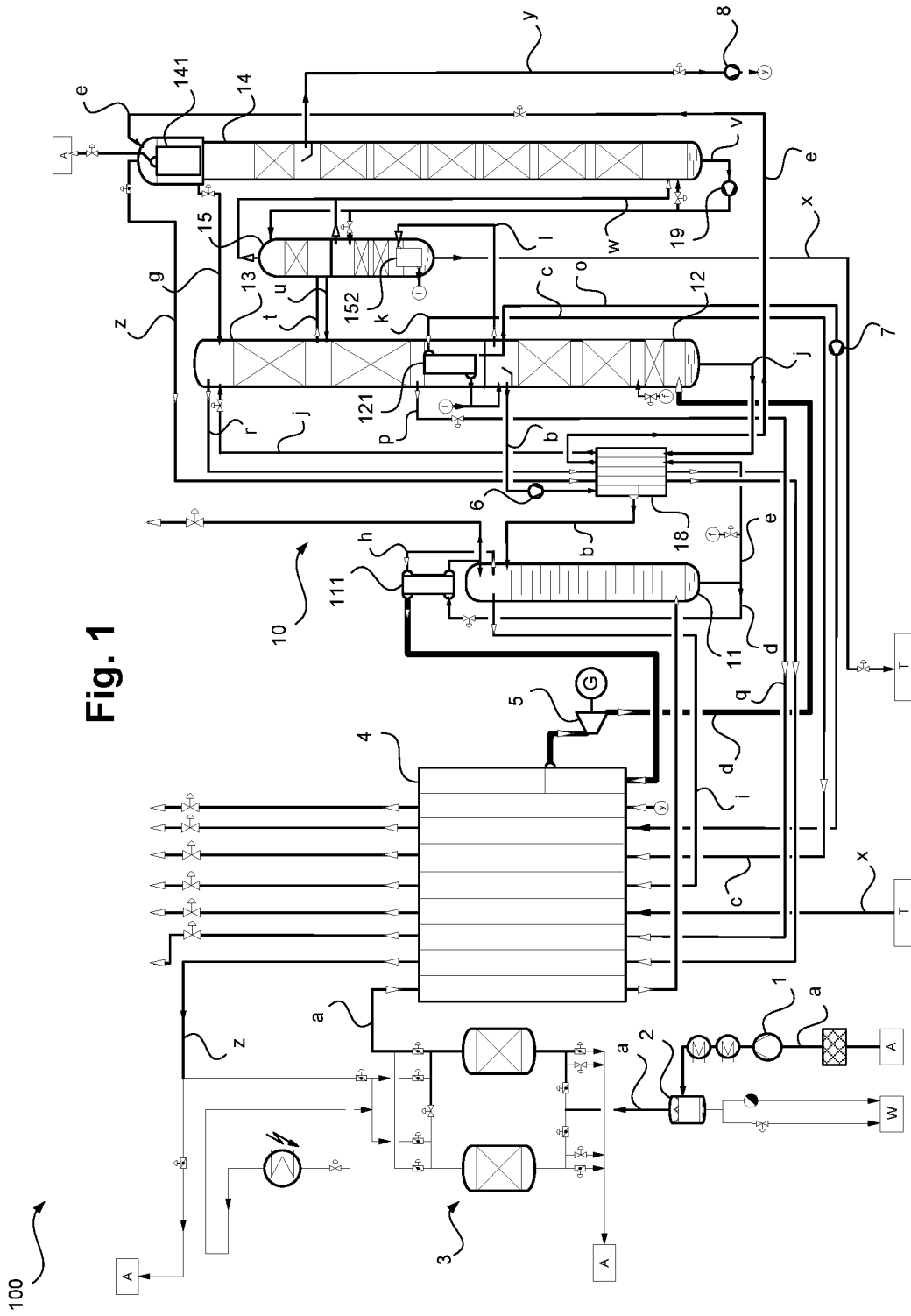


Fig. 1







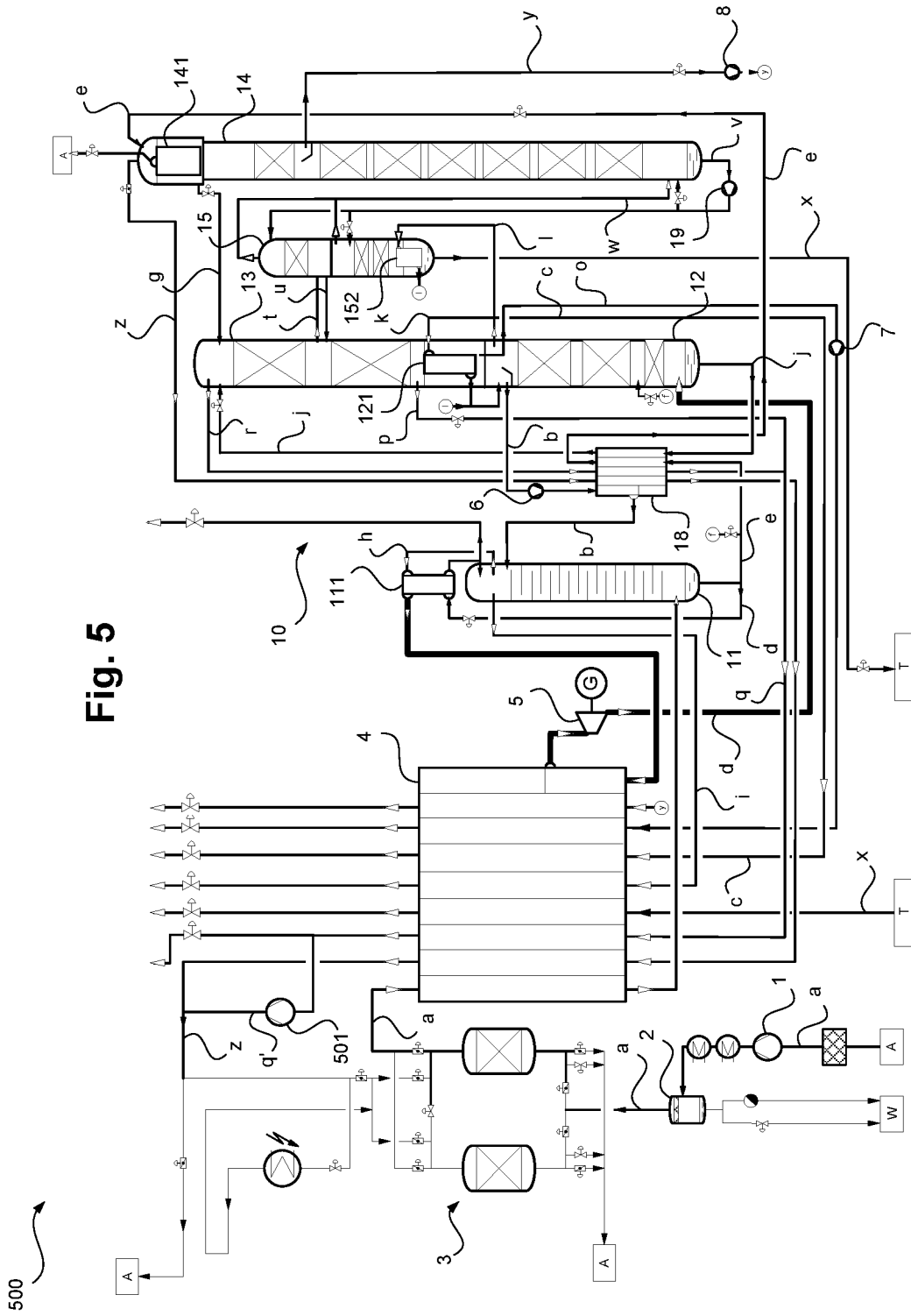


Fig. 5

500

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/025207

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <i>F25J 3/04</i> (2006.01)i  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>  Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F25J  Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4533375 A (ERICKSON DONALD C [US]) 06 August 1985 (1985-08-06) column 4, line 50 - column 5, line 49; figure 1	1-15
A	US 5692398 A (HIGGINBOTHAM PAUL [GB]) 02 December 1997 (1997-12-02) figure 4	1-15
A	US 5878598 A (HIGGINBOTHAM PAUL [GB]) 09 March 1999 (1999-03-09) figure 4	1-15
A	US 5577394 A (RATHBONE THOMAS [GB]) 26 November 1996 (1996-11-26) figure 2	1-15
A	US 4769055 A (ERICKSON DONALD C [US]) 06 September 1988 (1988-09-06) figures 3,4	1-15
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search <b>10 August 2020</b>		Date of mailing of the international search report <b>01 September 2020</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Schopfer, Georg</b>  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2020/025207**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	4533375	A	06 August 1985	NONE	
US	5692398	A	02 December 1997	DE 69615469 T2	23 May 2002
				EP 0752565 A2	08 January 1997
				JP H0926262 A	28 January 1997
				US 5692398 A	02 December 1997
US	5878598	A	09 March 1999	EP 0831285 A2	25 March 1998
				US 5878598 A	09 March 1999
US	5577394	A	26 November 1996	AU 685635 B2	22 January 1998
				CN 1123399 A	29 May 1996
				DE 69512847 T2	31 August 2000
				EP 0694745 A1	31 January 1996
				IN 190870 B	30 August 2003
				PL 309755 A1	05 February 1996
				TW 278047 B	11 June 1996
				US 5577394 A	26 November 1996
				ZA 955845 B	21 February 1996
US	4769055	A	06 September 1988	AT 80720 T	15 October 1992
				AU 1573388 A	24 August 1988
				DE 3874731 T2	22 April 1993
				EP 0350493 A1	17 January 1990
				US 4769055 A	06 September 1988
				WO 8805893 A1	11 August 1988

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F25J3/04 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F25J		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 533 375 A (ERICKSON DONALD C [US]) 6. August 1985 (1985-08-06) Spalte 4, Zeile 50 - Spalte 5, Zeile 49; Abbildung 1	1-15
A	----- US 5 692 398 A (HIGGINBOTHAM PAUL [GB]) 2. Dezember 1997 (1997-12-02) Abbildung 4	1-15
A	----- US 5 878 598 A (HIGGINBOTHAM PAUL [GB]) 9. März 1999 (1999-03-09) Abbildung 4	1-15
A	----- US 5 577 394 A (RATHBONE THOMAS [GB]) 26. November 1996 (1996-11-26) Abbildung 2	1-15
	----- -/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts	
10. August 2020	01/09/2020	
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter  Schopfer, Georg	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 769 055 A (ERICKSON DONALD C [US]) 6. September 1988 (1988-09-06) Abbildungen 3,4 -----	1-15

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/025207

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4533375	A	06-08-1985	KEINE	
US 5692398	A	02-12-1997	DE 69615469 T2 EP 0752565 A2 JP H0926262 A US 5692398 A	23-05-2002 08-01-1997 28-01-1997 02-12-1997
US 5878598	A	09-03-1999	EP 0831285 A2 US 5878598 A	25-03-1998 09-03-1999
US 5577394	A	26-11-1996	AU 685635 B2 CN 1123399 A DE 69512847 T2 EP 0694745 A1 IN 190870 B PL 309755 A1 TW 278047 B US 5577394 A ZA 955845 B	22-01-1998 29-05-1996 31-08-2000 31-01-1996 30-08-2003 05-02-1996 11-06-1996 26-11-1996 21-02-1996
US 4769055	A	06-09-1988	AT 80720 T AU 1573388 A DE 3874731 T2 EP 0350493 A1 US 4769055 A WO 8805893 A1	15-10-1992 24-08-1988 22-04-1993 17-01-1990 06-09-1988 11-08-1988