



(11) **EP 4 428 474 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
11.09.2024 Patentblatt 2024/37

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F25J 3/04^(2006.01) F25J 5/00^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23020111.3**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
**F25J 3/04236; F25J 3/04066; F25J 3/0426;
F25J 3/04321; F25J 3/044; F25J 5/005;
F25J 2200/72; F25J 2210/42; F25J 2245/50;
F25J 2250/02; F25J 2250/20**

(22) Anmeldetag: **08.03.2023**

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

Benannte Erstreckungsstaaten:

BA

Benannte Validierungsstaaten:

KH MA MD TN

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

(72) Erfinder:

- **HAAG, Wolfgang
82049 Pullach (DE)**

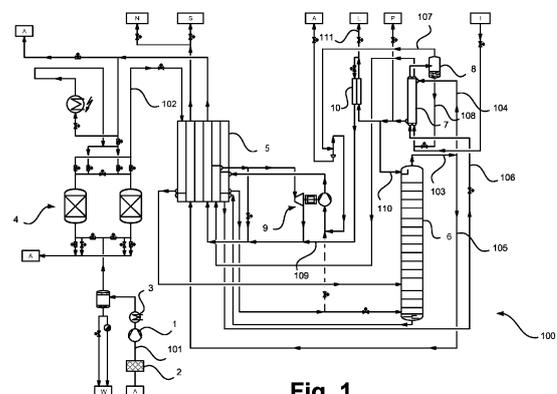
- **GOLUBEV, Dimitri
82049 Pullach (DE)**
- **XU, Zhengrong
82049 Pullach (DE)**
- **LOCHNER, Stefan
82049 Pullach (DE)**

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

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

(57) Es wird ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft (101) vorgeschlagen, bei dem eine Luftzerlegungsanlage (100) mit einer Rektifikationskolonne (6) verwendet wird, wobei die Luft (101) aufbereitet, druckbeaufschlagt, abgekühlt, und in die Rektifikationskolonne (6) eingespeist wird, wobei der Rektifikationskolonne (6) gegenüber der Luft (101) an Stickstoff angereichertes und an Sauerstoff abgereichertes Kopfgas entnommen wird, wobei ein Teil (104) des der Rektifikationskolonne (6) entnommenen Kopfgases unter Verwendung eines Kondensatorverdampfers (7) und unter Erhalt eines Kondensats kondensiert oder teilkondensiert wird, wobei das Kondensat oder ein Teil (110) hiervon als Rücklauf auf die Rektifikationskolonne (6) zurückgeführt wird, wobei der Kondensatorverdampfer (7) unter Verwendung von gegenüber der Luft (101) an Stickstoff angereicherter und an Sauerstoff angereicherter, der Rektifikationskolonne (6) entnommener Flüssigkeit (106) gekühlt wird, und wobei ein Teil der der Rektifikationskolonne (6) entnommenen Flüssigkeit (106) nach der Verwendung zur Kühlung des Kondensatorverdampfers (7) in verdampfter Form einer Kaltverdichtung unterworfen und danach in die Rektifikationskolonne (6) zurückgespeist wird. Hierbei ist vorgesehen, dass die der Rektifikationskolonne (6) entnommene Flüssigkeit (106) oder ein Teil hiervon durch den Kondensatorverdampfer (7) geführt, dabei teilweise verdampft, und danach einer Phasentrennung unter Verwendung einer Abscheideran-

ordnung (8) unterworfen wird, dass der Abscheideranordnung (8) Flüssigkeit (108) entnommen wird, und dass die der Abscheideranordnung (8) entnommene Flüssigkeit (108) oder ein Teil hiervon druckreduziert und danach erneut durch den Kondensatorverdampfer (7) geführt und dabei teilweise oder vollständig verdampft wird. Eine entsprechende Luftzerlegungsanlage (100) ist ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung.



EP 4 428 474 A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anlage zur Tieftemperaturzerlegung von Luft.

5 Hintergrund

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

10 Hintergrunds der vorliegenden Erfindung wird auf entsprechende Literatur verwiesen.

[0003] Aus der US 5,582,034 A ist ein Verfahren zur Herstellung von Stickstoff durch Tieftemperaturzerlegung von Luft bekannt, bei dem eine Einzelkolonne verwendet wird. Der Einzelkolonne werden aus einem unteren Bereich Flüssigkeiten mit unterschiedlichen Stickstoff- und Sauerstoffgehalten entnommen. Die Flüssigkeiten werden in einem Kondensatorverdampfer zur Kondensation von stickstoffreichem Kopfgas der Einzelkolonne verwendet, um auf diese Weise

15 einen Rücklauf für die Einzelkolonne zu liefern. Nach Verdampfung der stickstoffreicheren und sauerstoffärmeren Flüssigkeit wird das dabei gebildete Gas, oder ein Teil hiervon, rückverdichtet, abgekühlt, und in einen unteren Bereich der Einzelkolonne rückgespeist. Dieses Gas wird nachfolgend auch als "Kreislaufstrom" bezeichnet. Die stickstoffärmere und sauerstoffreichere Flüssigkeit kann, ebenfalls nach entsprechender Verdampfung, in einer Entspannungsturbine entspannt werden, die einen Booster zur Rückverdichtung des Kreislaufstroms antreibt. Weiteres Kopfgas der Einzelkolonne wird als Stickstoffprodukt aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet.

20 **[0004]** In der WO 2021/180362 A1 sind ebenfalls unterschiedliche Verfahren dieser Art beschrieben, welche die Anmelderin auch als SPECTRA-Verfahren bezeichnet. Auf die Erläuterungen auf Seite 2 dieser Druckschrift und die dortige Beschreibung zu Figur 1 wird vorliegend ausdrücklich Bezug genommen.

25 **[0005]** Es besteht der Bedarf nach Verbesserungen bei entsprechenden Verfahren, insbesondere hinsichtlich ihrer Energieeffizienz.

Offenbarung der Erfindung

30 **[0006]** Vor diesem Hintergrund schlägt die vorliegende Erfindung ein Verfahren und eine Anlage mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vor. Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche und der nachfolgenden Beschreibung.

[0007] Vor der Erläuterung der Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung und unterschiedlicher Ausgestaltungen hiervon werden einige Grundlagen näher erläutert und nachfolgend verwendete Begriffe definiert.

35 **[0008]** 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.

40 **[0009]** 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 betrachtete Flüssigkeit oder das betrachtete Gas gewonnen wurde.

45 **[0010]** 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 ausschließlich hieraus bestehen muss.

50 **[0011]** Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung sind insbesondere für die Bereitstellung ultrahochreiner Luftprodukte, insbesondere Stickstoff, vorgesehen, und eignen sich in besonderer Weise für derartige Zwecke, wobei unter einem "ultrahochreinen" Luftprodukt insbesondere ein Luftprodukt mit weniger als 10, 5, 1, 0,5 oder 0,1 Milliardstel Anteilen (ppb) von Fremdkomponenten verstanden werden soll.

55 **[0012]** Die vorliegende Anmeldung verwendet zur Charakterisierung von Drücken und Temperaturen die Begriffe "Druckniveau" und "Temperaturniveau", wodurch zum Ausdruck gebracht werden soll, dass entsprechende Drücke und Temperaturen in einer entsprechenden Anlage nicht in Form exakter Druck- bzw. Temperaturwerte verwendet werden müssen, um das erfinderische Konzept zu verwirklichen. Jedoch bewegen sich derartige Drücke und Temperaturen

typischerweise in bestimmten Bereichen, die beispielsweise $\pm 1\%$, 5% oder 10% um einen Mittelwert liegen. Entsprechende Druckniveaus und Temperaturniveaus können dabei in disjunkten Bereichen liegen oder in Bereichen, die einander überlappen. Insbesondere schließen beispielsweise Druckniveaus unvermeidliche oder zu erwartende Druckverluste ein. Entsprechendes gilt für Temperaturniveaus. Bei den hier in bar angegebenen Druckniveaus handelt es sich um Absolutdrücke.

[0013] Ist hiervon "Entspannungsmaschinen" oder "Entspannungsturbinen" 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, die nachfolgend auch als "Booster" bezeichnet werden. Eine Kombination aus Turboexpander und Turboverdichter wird typischerweise auch als "Turbinenbooster", oder "Boosterturbinenanordnung" bezeichnet. In einem Turbinenbooster sind der Turboexpander und der Turboverdichter mechanisch gekoppelt, wobei die Kopplung drehzahlgleich (beispielsweise unter Verwendung einer gemeinsamen Welle) oder drehzahlunterschiedlich (beispielsweise unter Verwendung eines geeigneten übersetzenden Getriebes) erfolgen kann. Auch antreibende oder bremsende Einheiten wie Motoren, Generatoren oder Ölbremmen können zwischengeschaltet sein.

[0014] Unter einem "Kaltverdichter" bzw. "Kaltbooster" wird hier ein Verdichter bzw. Booster verstanden, dem ein Stoffstrom auf einem kryogenen bzw. tiefkalten Temperaturniveau, d.h. einem Temperaturniveau von deutlich unterhalb von $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, insbesondere unterhalb von -50 , -75 oder $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ und insbesondere bis hin zu -150 oder $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$, zugeführt wird. Für den Begriff "Kaltverdichtung" gilt Entsprechendes.

[0015] Ein "Hauptluftverdichter" zeichnet sich dadurch aus, dass durch ihn die gesamte, der Luftzerlegungsanlage zugeführte und dort zerlegte Luft verdichtet wird. Auch mehrere Hauptluftverdichter können vorhanden sein und insbesondere parallel geschaltet oder in anderer Weise verschaltet sein. 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 und ggf. nur im Gegenstrom zu Stoffströmen, die aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet werden. Auch mehrere parallele Wärmetauscher können die Funktion eines Hauptwärmetauschers, oder jeweils Teilfunktionen, erfüllen. Aus einer Luftzerlegungsanlage "ausgeleitete" Stoffströme oder "Produkte" sind im hier verwendeten Sprachgebrauch Fluide, die nicht mehr an anlageninternen Kreisläufen teilnehmen, sondern diesen dauerhaft entzogen werden.

[0016] Ein "Wärmetauscher" zum Einsatz im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann in fachüblicher Art ausgebildet sein. Er dient zur indirekten Übertragung von Wärme zwischen zumindest zwei z.B. im Gegenstrom zueinander geführten Fluidströmen, beispielsweise einem warmen Druckluftstrom und einem oder mehreren kalten Fluidströmen oder einem tiefkalten flüssigen Luftprodukt und einem oder mehreren warmen bzw. wärmeren, ggf. aber auch noch tiefkalten, Fluidströmen. Ein Wärmetauscher kann aus einem einzelnen oder mehreren parallel und/oder seriell verbundenen Wärmetauscherabschnitten gebildet sein, z.B. aus einem oder mehreren Plattenwärmetauscherblöcken. Es handelt sich beispielsweise um einen Plattenwärmetauscher (engl. Plate Fin Heat Exchanger). Ein derartiger Wärmetauscher weist "Passagen" auf, die als voneinander getrennte Fluidkanäle mit Wärmeaustauschflächen ausgebildet und parallel und 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 Stoffstrom.

[0017] Als "Kondensatorverdampfer" wird ein Wärmetauscher bezeichnet, in dem ein kondensierender Stoffstrom in indirekten Wärmeaustausch mit einem verdampfenden Stoffstrom 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 kondensierenden Stoffstroms durchgeführt, in dem Verdampfungsraum die Verdampfung des verdampfenden Stoffstroms. Der Verdampfungs- und der Verflüssigungsraum werden durch Gruppen von Passagen gebildet, die untereinander in Wärmeaustauschbeziehung stehen.

[0018] In einem "Forced-Flow"-Kondensatorverdampfer bzw. Kondensatorverdampfer mit Zwangsführung, der auch im Rahmen der vorliegenden Erfindung zum Einsatz kommen kann, wird ein Flüssigkeitsstrom mittels seines eigenen Drucks bzw. des jeweiligen Leitungsdrucks durch den Verdampfungsraum gedrückt und dort partiell oder vollständig verdampft. Der erforderliche Druck kann beispielsweise durch eine Flüssigkeitssäule in der Zuleitung zum Verdampfungsraum erzeugt werden, die sich aus einer entsprechenden Positionierung eines Flüssigkeitsreservoirs ergibt, aber auch aus einem Druck einer Rektifikationskolonne, aus der ein entsprechender Stoffstrom entnommen wird. Die Höhe der genannten Flüssigkeitssäule bzw. ein Leitungsdruck, insbesondere stromabwärts eines Drosselventils, entspricht dabei mindestens dem Druckverlust im Verdampfungsraum. Das aus dem Verdampfungsraum austretende Gas oder Gas-Flüssigkeitsgemisch, d.h. im letzteren Fall ein Zweiphasenstrom, kann dabei insbesondere direkt zum nächsten Verfahrensschritt bzw. zu einer stromabwärtigen Vorrichtung oder Verdampfung und dergleichen weitergeleitet werden. Dieses bzw. dieser wird insbesondere nicht in ein Flüssigkeitsbad des Kondensatorverdampfers eingeleitet, aus dem

der flüssig verbliebene Anteil erneut angesaugt würde, wie dies beispielsweise bei in einem herkömmlichen, auf Grundlage des Thermosiphoneffekts betriebenen Badverdampfer der Fall ist. In einem derartigen Fall wird insbesondere auch von einem als "Once-Through"-Kondensatorverdampfer ausgebildeten Kondensatorverdampfer gesprochen, wobei die Begriffe "Forced-Flow"- und "Once-Through"-Kondensatorverdampfer auch synonym verwendet werden.

5 **[0019]** Die eingangs erläuterten Verfahren umfassen einen Kaltverdichter bzw. Kaltbooster als Kernelement einer verbesserten Rückführung zur Verbesserung der Produktausbeute bei gleichzeitiger Bereitstellung von Stickstoff unter relativ hohem Druck.

10 **[0020]** Der Strom zum Kaltbooster (gebildet aus der bereits eingangs erwähnten stickstoffreicheren und sauerstoffärmeren Flüssigkeit) wird dabei im Gegensatz zu einem früheren Verfahren, wie sie beispielsweise in der erwähnten US 4,966,002 A vorgeschlagen wird, oberhalb des Kolonnensumpfes der Einzelkolonne abgezogen und separat in dem verwendeten Kondensatorverdampfer mit Zwangsführung bzw. Reboiler "trocken", d.h. ohne Verbleib eines unverdampften Rests, verdampft. Dieser Strom weist, wie angesprochen, einen höheren Stickstoffgehalt als die Flüssigkeit im Sumpf der Einzelkolonne auf, was im Gegensatz zu dem früheren Verfahren, in dem nur Sumpfflüssigkeit mit geringerem Stickstoffgehalt verdampft wird, zu einer verbesserten Stickstoffrückgewinnung und einem höheren Ansaugdruck für den Kaltbooster führt.

15 **[0021]** Ein anderes Verfahren, das in der US 6,279,345 B1 offenbart ist, umfasst eine Warmverdichtung und eine modifizierte Rückführung. Der Strom zur Warmverdichtung wird aus dem Sumpf der Einzelkolonne entnommen und in zwei Stufen verdampft. Hierbei erfolgt in einem ersten Schritt eine Teilverdampfung mit anschließender Phasentrennung und in einem zweiten Schritt eine Vollverdampfung der abgetrennten Flüssigkeit in einem Badverdampfer. Dieser Strom weist aufgrund des Phasengleichgewichts des Stickstoff-Sauerstoff-Gemischs einen deutlich höheren Stickstoffgehalt als die Sumpfflüssigkeit der Einzelkolonne auf.

20 **[0022]** Die vorliegende Erfindung beruht nun auf der überraschenden Erkenntnis, dass sich Teilmerkmale der soeben erläuterten herkömmlichen Verfahren mit besonders vorteilhaften und unerwarteten Effekten miteinander kombinieren lassen. Hierbei handelt es sich um eine Kaltverdichtung des rückgeführten Stroms einerseits, und die Verwendung eines Kondensatorverdampfers mit Zwangsführung andererseits, verbunden mit einer zweistufigen Verdampfung der Sumpfflüssigkeit aus der Einzelkolonne. Es hat sich gezeigt, dass die Topologie mit zweistufiger Verdampfung der Sumpfflüssigkeit deutlich vorteilhafter ist als herkömmliche Lösungen.

25 **[0023]** Die vorgeschlagene Lösung führt einerseits zu einem höheren Stickstoffgehalt im Kreislaufstrom und andererseits zu einem höheren Saugdruck bei der Kaltverdichtung. Der höhere Stickstoffgehalt im Kreislaufstrom führt zur Erhöhung der Produktausbeute im Prozess der Sauerstoffabtrennung. Der höhere Saugdruck am Kaltverdichter erlaubt das Einstellen einer höheren Kreislaufmenge und führt zur geringeren Verdichtungsarbeit bzw. der zur Verdichtung notwendigen Turbinenleistung. Dadurch lassen sich auch die thermodynamischen Verluste im Expansionsprozess reduzieren. Außerdem ergeben sich auch Verbesserungen beim Q-T-Profil im Kondensatorverdampfer. Die zur Übertragung der Wärmemenge im Kondensator notwendige Temperaturdifferenz kann mit Aufrechterhaltung der minimalen Temperaturdifferenz reduziert werden. Der Ansaugdruck des Kaltverdichters kann beispielsweise bei einem Stickstoffproduktdruck von ca. 11 bar Absolutdruck auf einem Druckniveau von 6 bis 8 bar, insbesondere 6,5 bis 7,5 bar, beispielsweise ca. 6,7 bis 7,0 bar Absolutdruck, liegen.

30 **[0024]** Zur Erzielung der genannten Vorteile wird ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft vorgeschlagen, bei dem eine Luftzerlegungsanlage mit einer Rektifikationskolonne verwendet wird. Die Rektifikationskolonne kann eine Einzelkolonne sein, d.h. die Luftzerlegungsanlage kann so ausgestaltet sein, dass die Rektifikationskolonne die einzige Rektifikationskolonne darstellt, es können aber auch mehrere identische, im Wesentlichen identische oder vergleichbare Rektifikationskolonnen in Mehrzahl vorhanden sein, die beispielsweise auch im Parallelbetrieb betrieben oder in Reihe geschaltet werden können, beispielsweise bei Höhenproblemen. Wie auch unten erläutert, können in Ausgestaltungen der Erfindung auch weitere Rektifikationskolonnen vorgesehen sein, beispielsweise zur Bereitstellung von Sauerstoff, insbesondere Hochreinsauerstoff.

35 **[0025]** Am Kopf einer entsprechenden Rektifikationskolonne reichern sich Helium und Neon an, im Sumpf dagegen Krypton und Xenon. Kopf und Sumpf der Rektifikationskolonne, können daher auch mit Einrichtungen wie Sperrböden ausgestattet werden. Auf diese Weise kann am Kopf insbesondere mit Helium und Neon (und auch ggf. Wasserstoff) angereichertes Fluid (Gas oder Flüssigkeit, insbesondere Gas) abgezogen werden, das in einer zusätzlichen Kolonne mit Kondensator angereichert werden kann. Am Sumpf kann eine mit Schwersiedern, also Krypton und Xenon, angereichertes Fluid (Gas oder Flüssigkeit, insbesondere Flüssigkeit) abgezogen werden, das in einer weiteren Kolonne mit Sumpfverdampfer angereichert werden kann.

40 **[0026]** In dem vorgeschlagenen Verfahren wird die Luft aufbereitet, druckbeaufschlagt, abgekühlt, und in die Rektifikationskolonne eingespeist. Die Aufbereitung kann bspw. in der Art erfolgen, wie dies auch in der eingangs bereits zitierten WO 2021/180362 A1, insbesondere im Zusammenhang mit der dortigen Figur 1, oder in der zitierten Fachliteratur ausführlich beschrieben ist. Jede Art der Aufbereitung von Luft in einer Luftzerlegungsanlage kann grundsätzlich eingesetzt werden.

45 **[0027]** Der Rektifikationskolonne wird gegenüber der Luft an Stickstoff angereichertes und an Sauerstoff abgereicher-

tes Kopfgas entnommen, wobei ein Teil des der Rektifikationskolonne entnommenen Kopfgases unter Verwendung eines Kondensatorverdampfers und unter Erhalt eines Kondensats kondensiert oder teilkondensiert wird, und wobei das Kondensat oder ein Teil hiervon als Rücklauf auf die Rektifikationskolonne zurückgeführt wird. Die Ausgestaltung der Rektifikationskolonne und des Kondensatorverdampfers kann an sich ebenfalls der zitierten Literatur entsprechen. Wie nachfolgend erläutert, wird aber ein entsprechender Kondensatorverdampfer mit Kühlmittel betrieben, das in der vorgeschlagenen Offenbarung in einer spezifischen Weise bereitgestellt und geführt wird, so dass sich die zuvor erläuterten Vorteile ergeben.

[0028] In dem vorgeschlagenen Verfahren wird der Kondensatorverdampfer unter Verwendung von gegenüber der Luft an Stickstoff angereicherter und an Sauerstoff angereicherter und der Rektifikationskolonne entnommener Flüssigkeit, insbesondere Sumpfflüssigkeit, und weiter insbesondere nur Sumpfflüssigkeit, gekühlt, und ein Teil der der Rektifikationskolonne entnommenen Flüssigkeit wird nach der Verwendung zur Kühlung des Kondensatorverdampfers in verdampfter Form einer Kaltverdichtung unterworfen und in die Rektifikationskolonne zurückgespeist. Es handelt sich bei diesem Teil um den mehrfach angesprochenen Kreislaufstrom.

[0029] Die der Rektifikationskolonne entnommene (Sumpf-)Flüssigkeit oder ein Teil hiervon wird in dem vorgeschlagenen Verfahren durch den Kondensatorverdampfer geführt, dabei teilweise verdampft, und danach einer Phasentrennung unter Verwendung einer Abscheideranordnung unterworfen.

[0030] Der Begriff "Abscheideranordnung" soll dabei hier jede für eine Phasentrennung geeignete Einrichtung bezeichnen. Insbesondere weist eine entsprechende Abscheideranordnung einen oder mehrere Abscheiderbehälter an sich bekannter Art auf. Im einfachsten Fall handelt es sich dabei um einen Leerbehälter, ggf. mit geeigneten Einbauten wie einem Tropfenabscheider, in dessen unteren Bereich sich die abgeschiedene Flüssigphase sammelt und aus dessen oberem Bereich die Gasphase abgezogen werden kann. Gestrick- und Lamellenabscheider sowie Axialzyklonabscheider können ebenfalls verwendet werden.

[0031] In dem vorgeschlagenen Verfahren wird der Abscheideranordnung Flüssigkeit entnommen, und die der Abscheideranordnung entnommene Flüssigkeit oder ein Teil hiervon wird druckreduziert und danach erneut durch den Kondensatorverdampfer geführt und dabei teilweise oder vollständig verdampft. Die Druckreduktion kann beispielsweise bei einem Stickstoffproduktdruck von ca. 11 bar Absolutdruck auf ein Druckniveau von 4 bis 6 bar, beispielsweise ca. 5,1 bis 6,0 bar Absolutdruck, erfolgen, so dass eine vollständige Verdampfung sichergestellt werden kann. Insbesondere erfolgt in letzterem Schritt eine vollständige Verdampfung bzw. "Trockenverdampfung", wie dies in herkömmlichen Verfahren, wie sie zuvor beschrieben sind, für die oberhalb des Sumpfs der Rektifikationskolonne abgezogene Flüssigkeit erfolgen kann. Die der Abscheideranordnung entnommene Flüssigkeit weist gegenüber der Sumpfflüssigkeit der Rektifikationskolonne aus den erwähnten Gründen ebenfalls einen erhöhten Stickstoffgehalt auf.

[0032] Zu den Vorteilen des vorgeschlagenen Verfahrens und die hierfür, ohne durch die Theorie gebunden zu sein, verantwortlichen Gründe, sei auf die obigen Erläuterungen ausführlich verwiesen. Diese ergeben sich grundsätzlich in allen Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung in gleicher Weise. Insbesondere sei darauf hingewiesen, dass auch mehrere Teilverdampfungsschritte mit entsprechender Führung durch den Kondensatorverdampfer und jeweiliger anschließender Phasentrennung vorgesehen sein können, wobei die erhaltenen Gase und Flüssigkeiten in vergleichbarer Weise verwendet werden können.

[0033] In einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung kann als Abscheideranordnung eine Anordnung verwendet werden, in der der Kondensatorverdampfer innerhalb eines Abscheiderbehälters angeordnet ist. Auf diese Weise kann insbesondere eine platzsparendere Anordnung, bspw. innerhalb einer Coldbox, erzielt werden, die daher nicht vergrößert werden muss. Der Abscheiderbehälter kann dabei mit einem größeren Querschnitt erstellt werden, als dies bei separater Bereitstellung möglich wäre, wodurch sich insbesondere die Abscheidung von Tropfen verbessert. Der Querschnitt kann dabei insbesondere einem Querschnitt der Rektifikationskolonne entsprechen oder im Wesentlichen entsprechen, bzw. kann der Querschnitt der Abscheideranordnung bzw. von dessen außenliegendem Abscheidebehälter insbesondere beim 0,5-fachen bis 1,5-fachen der Rektifikationskolonne liegen.

[0034] In Ausgestaltungen der Erfindung kann der Abscheideranordnung Gas entnommen werden, wobei der Teil der der Rektifikationskolonne entnommenen Flüssigkeit, der nach der Verwendung zur Kühlung des Kondensatorverdampfers in verdampfter Form einer Kaltverdichtung unterworfen und in die Rektifikationskolonne zurückgespeist wird, das der Abscheideranordnung entnommene Gas oder einen Teil hiervon umfasst. Wie erwähnt, wird die Zusammensetzung dieses Gases durch die vorliegend vorgeschlagene zweifache Verdampfung in der ersten Stufe hinsichtlich des Stickstoff- und Sauerstoffgehalts vorteilhaft beeinflusst, so dass dieses in besonders vorteilhafter Weise zur Bildung des Kreislaufstroms verwendbar ist.

[0035] Die der Abscheideranordnung entnommene unverdampfte Flüssigkeit oder der Teil hiervon, der erneut durch den Kondensatorverdampfer geführt und teilweise oder vollständig verdampft wird, oder (wiederum) ein Teil hiervon, kann in Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung einer Entspannung unterworfen und insbesondere in einem Hauptwärmetauscher erwärmt und aus der Luftzerlegungsanlage ausgeführt werden. Auf diese Weise wird die für Betrieb der Anlage notwendige Kälteleistung sowie die zur Verdichtung vom Kreislaufstrom benötigte Leistung bereitgestellt.

[0036] In Ausgestaltungen der Erfindung kann die Kaltverdichtung und die Entspannung unter Verwendung einer

Boosterturbinenanordnung durchgeführt werden. Hierbei können Booster und Entspannungsturbinen in beliebiger Anzahl und Kombination miteinander gekoppelt sein. Eine Boosterturbinenanordnung kann in Ausgestaltungen der Erfindung auch mehrere Booster-Turbinen-Einheiten umfassen, die bspw. parallel betrieben werden können. Auch beliebige weitere Einheiten, wie bspw. Ölbremser oder Generatoren, können in entsprechenden Boosterturbinenanordnungen bereitgestellt sein und bspw. überschüssige Leistung umsetzen.

[0037] Die der Abscheideranordnung entnommene Flüssigkeit, oder der Teil hiervon, der erneut durch den Kondensatorverdampfer geführt und dabei teilweise oder vollständig verdampft wird, kann in Ausgestaltungen der Erfindung insbesondere vor dem erneuten Führen durch den Kondensatorverdampfer druckreduziert werden. Auf diese Weise kann insbesondere der Druck auf ein Druckniveau eingestellt werden, das eine anschließende vollständige Verdampfung sicherstellt.

[0038] Wie erwähnt, sind im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere Kondensatorverdampfer einsetzbar, die eine Zwangsführung aufweisen, d.h. als "Once Through"- bzw. "Forced Flow"-Kondensatorverdampfer ausgebildet sind. Mit anderen Worten werden in einem Verfahren gemäß einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung also die durch den Kondensatorverdampfer geführten Flüssigkeiten jeweils mittels ihres Leitungsdrucks einmalig und von unten nach oben durch unterschiedliche Passagen des Kondensatorverdampfers geführt.

[0039] Überwiegend der Vollständigkeit halber sei angemerkt, dass das vorgeschlagene Verfahren umfasst, dass das der Rektifikationskolonne entnommene Kopfgas zu einem weiteren Teil zur Bereitstellung eines gasförmigen Druckstickstoffprodukts verwendet wird, wie an sich in entsprechenden Verfahren bekannt. Die Bereitstellung kann eine Entspannung auf unterschiedliche Druckniveaus und dergleichen umfassen. Das Kopfgas, und damit das gasförmige Druckstickstoffprodukt, kann insbesondere einen Gehalt von weniger als 0,1 Milliardstel Teilen (ppb, insbesondere im Volumenanteil) und weniger als 1 Millionstel Teil Argon (ppm, insbesondere im Volumenanteil) aufweisen. Das gasförmige Druckstickstoffprodukt kann insbesondere auf einem Druckniveau von 6 bis 15 bar, beispielsweise 8 bis 12 bar oder ca. 11 bar Absolutdruck bereitgestellt werden.

[0040] Wie erwähnt, können Ausgestaltungen der Erfindung auch vorsehen, dass die Luftzerlegungsanlage eine weitere Rektifikationskolonne aufweist, die zur Bereitstellung eines sauerstoffreichen Luftprodukts verwendet wird. Eine entsprechende weitere Rektifikationskolonne wird auch als Reinsauerstoffkolonne bezeichnet. Zur Betriebsweise einer Reinsauerstoffkolonne kann beispielsweise auf die WO 2020/083525 A1 und die dortige Beschreibung zu Figur 1 verwiesen werden.

[0041] Zum Betrieb der Reinsauerstoffkolonne, also der weiteren Rektifikationskolonne, wird der luftgespeisten Rektifikationskolonne ein Stoffstrom, der Stickstoff und Sauerstoff enthält, insbesondere flüssig, entnommen und in die weitere Rektifikationskolonne eingespeist. Die Entnahme erfolgt einige Böden oberhalb des Sumpfs. Im Sumpf der zweiten Rektifikationskolonne erhält man eine sauerstoffreiche Flüssigkeit. In einem Sumpfbereich der weiteren Rektifikationskolonne ist dabei ein Sumpfverdampfer angeordnet, der mit dem später in die weitere Rektifikationskolonne eingespeisten Fluid, oder einem Teil hiervon, beheizt werden kann.

[0042] Die im Sumpf der weiteren Rektifikationskolonne erhaltene sauerstoffreiche Flüssigkeit kann insbesondere einen Sauerstoffgehalt von mehr als 97 Molprozent, insbesondere mehr als 99 Molprozent, aufweisen. Es kann sich auch um Sauerstoff in Hochreinqualität mit mehr als 99,999999 Molprozent und typischerweise ca. 15 bis 20 ppb Verunreinigungen handeln.

[0043] Generell kann in dem vorgeschlagenen Verfahren die Rektifikationskolonne auf einem Druckniveau von 6 bis 15 bar, insbesondere von 8 bis 13 bar, beispielsweise bei ca. 12 bar Absolutdruck betrieben werden. Der Booster der Boosterturbine kann insbesondere mit einer Eintrittstemperatur von -175 bis -160 °C betrieben werden. Der Kreislaufstrom, d.h. der Teil der der Rektifikationskolonne entnommenen Flüssigkeit, der nach der Verwendung zur Kühlung des Kondensatorverdampfers in verdampfter Form der Kaltverdichtung unterworfen und in die Rektifikationskolonne zurückgespeist wird, kann insbesondere einen Gehalt von 60 bis 65% Stickstoff, 1,5 bis 2,5% Argon und 30 bis 40% Sauerstoff, jeweils im Molanteil, aufweisen. Beispielhafte Gehalte sind ca. 61 bis 63% Stickstoff, ca. 2% Argon, und 35 bis 36% Sauerstoff.

[0044] Die vorgeschlagene Luftzerlegungsanlage weist eine Rektifikationskolonne auf, die dafür eingerichtet ist, Luft aufzubereiten, mit Druck zu beaufschlagen, abzukühlen, und in die Rektifikationskolonne einzuspeisen, der Rektifikationskolonne ein gegenüber der Luft an Stickstoff angereichertes und an Sauerstoff abgereichertes Kopfgas zu entnehmen, einen Teil des der Rektifikationskolonne entnommenen Kopfgases unter Verwendung eines Kondensatorverdampfers und unter Erhalt eines Kondensats zu kondensieren oder teilweise zu kondensieren, das Kondensat oder einen Teil hiervon als Rücklauf auf die Rektifikationskolonne zurückzuführen, den Kondensatorverdampfer unter Verwendung von gegenüber der Luft an Stickstoff abgereicherter und an Sauerstoff angereicherter und der Rektifikationskolonne entnommener Flüssigkeit zu kühlen, und einen Teil der der Rektifikationskolonne entnommenen Flüssigkeit nach der Verwendung zur Kühlung des Kondensatorverdampfers in verdampfter Form einer Kaltverdichtung zu unterwerfen und in die Rektifikationskolonne zurückzuspeisen.

[0045] Die vorgeschlagene Luftzerlegungsanlage ist dafür eingerichtet, die der Rektifikationskolonne entnommene Flüssigkeit oder einen Teil hiervon durch den Kondensatorverdampfer zu führen, dabei teilweise zu verdampfen, und

danach einer Phasentrennung in einer Abscheideranordnung zu unterwerfen, der Abscheideranordnung Flüssigkeit zu entnehmen, und die der Abscheideranordnung entnommene Flüssigkeit oder einen Teil hiervon einer Druckreduktion zu unterwerfen und danach erneut durch den Kondensatorverdampfer zu führen und dabei teilweise oder vollständig zu verdampfen.

[0046] Zu weiteren Merkmalen und Vorteilen einer entsprechenden Luftzerlegungsanlage und Ausgestaltungen hiervon sei auf die obigen Erläuterungen betreffend das erfindungsgemäß vorgeschlagene Verfahren und seine Ausgestaltungen ausdrücklich verwiesen, da diese hierfür in gleicher Weise gelten.

[0047] Entsprechendes gilt auch für eine Luftzerlegungsanlage, die gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung dazu eingerichtet ist, ein Verfahren gemäß einer beliebigen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung durchzuführen.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0048] Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend rein beispielhaft unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung beschrieben.

Figur 1 veranschaulicht eine Luftzerlegungsanlage 100 gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Figur 2 veranschaulicht Teilmerkmale eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Figur 3 veranschaulicht ein Wärme-Temperatur-Diagramm eines Kondensatorverdampfers einer nicht erfindungsgemäßen Luftzerlegungsanlage.

Figur 4 veranschaulicht ein Wärme-Temperatur-Diagramm eines Kondensatorverdampfers einer Luftzerlegungsanlage gemäß einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung.

Ausführungsformen der Erfindung

[0049] Die nachfolgend beschriebenen Ausführungsformen werden lediglich zu dem Zweck beschrieben, den Leser beim Verständnis der beanspruchten und zuvor erläuterten Merkmale zu unterstützen. Sie stellen lediglich repräsentative Beispiele dar und sollen hinsichtlich der Merkmale der Erfindung nicht abschließend und/oder beschränkend betrachtet werden. Es versteht sich, dass die zuvor und nachfolgend beschriebenen Vorteile, Ausführungsformen, Beispiele, Funktionen, Merkmale, Strukturen und/oder anderen Aspekte nicht als Beschränkungen des Umfangs der Erfindung, wie er in den Ansprüchen definiert ist, oder als Beschränkungen von Äquivalenten zu den Ansprüchen zu betrachten sind, und dass andere Ausführungsformen verwendet und Änderungen vorgenommen werden können, ohne vom Umfang der beanspruchten Erfindung abzuweichen.

[0050] Unterschiedliche Ausführungsformen der Erfindung können weitere zweckmäßige Kombinationen der beschriebenen Elemente, Komponenten, Merkmale, Teile, Schritte, Mittel usw. umfassen, aufweisen, aus ihnen bestehen oder im Wesentlichen aus ihnen bestehen, auch wenn solche Kombinationen hier nicht spezifisch beschrieben sind. Darüber hinaus kann die Offenbarung andere Erfindungen umfassen, die gegenwärtig nicht beansprucht sind, die aber in Zukunft beansprucht werden können, insbesondere wenn sie vom Umfang der unabhängigen Ansprüche umfasst sind.

[0051] Erläuterungen, die sich auf Vorrichtungen, Apparate, Anordnungen, Systeme usw. gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beziehen, können auch für Verfahren, Prozesse, Methoden usw. gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung gelten und umgekehrt. Gleiche, gleich wirkende, in ihrer Funktion einander entsprechende, baulich identisch oder vergleichbar aufgebaute Elemente, Verfahrensschritte usw. können mit identischen Bezugszeichen angegeben sein.

[0052] Figur 1 veranschaulicht eine Luftzerlegungsanlage 100 gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0053] Die Luftzerlegungsanlage 100 weist einen warmen Teil auf, in dem ein aus der Atmosphäre A angesaugter Luftstrom 101, wie vielfach anderenorts beschrieben, mittels eines Hauptluftverdichters 1 über ein Filter 2 angesaugt, mittels eines Kühlers 3 indirekt mit Wasser W gekühlt und in einer Adsorptionseinheit 4 im Wesentlichen von Wasser und Kohlendioxid befreit wird (sogenannte Prepurification Unit, PPU). Der auf diese Weise konditionierte, druckbeaufschlagte Luftstrom 102 wird in einem Hauptwärmetauscher 5 abgekühlt, indem er bis zu einer Entnahmeposition nahe des kalten Endes durch den Hauptwärmetauscher 5 geführt wird, und anschließend in eine Rektifikationskolonne 6 eingespeist.

[0054] Der Rektifikationskolonne 6 wird Kopfgas in Form eines Stoffstroms 103 entnommen, das zu einem ersten Anteil in Form eines Stoffstroms 104 durch einen Kondensatorverdampfer 7 mit Zwangsführung geführt und zu einem zweiten Anteil in Form eines Stoffstroms 105 in dem Hauptwärmetauscher 5 erwärmt und als Druckstickstoffprodukt N

bzw. Sealgas S aus dem Verfahren ausgeführt wird.

[0055] Der Kondensatorverdampfer 7 wird mit einem Stoffstrom 106 als Kältemittel betrieben, welcher unter Verwendung von Sumpfflüssigkeit aus der Rektifikationskolonne 6 gebildet und am kalten Ende des Hauptwärmetauschers 5 weiter abgekühlt, wird. Der in dem Kondensatorverdampfer teilverdampfte Stoffstrom 106 wird in einem Abscheiderbehälter bzw. einer Abscheideeinrichtung 8 phasengetreunt.

[0056] Eine Flüssigphase aus der Abscheideeinrichtung 8 wird in Form eines Stoffstroms 108 erneut als Kältemittel durch den Kondensatorverdampfer 7 geführt und dabei insbesondere trockenverdampft, danach in dem Hauptwärmetauscher 5 teilerwärmt, zu einstellbaren Anteilen mittels einer Entspannungsturbine einer Boosterturbinenanordnung 9 entspannt, mit einem unten beschriebenen Stoffstrom 109 vereinigt, in dem Hauptwärmetauscher 5 erwärmt, und an die Atmosphäre A abgegeben und/oder als Regeneriergas in der Adsorptionseinheit 4 verwendet. Optional und bei Bedarf kann Flüssigstickstoff I zu dem Stoffstrom 108 zugespeist werden. Vorteilhafterweise erfolgt keine Zusp eisung stromauf hiervon, um ein gasförmiges Stickstoffprodukt nicht zu verunreinigen. Der zugespeiste Flüssigstickstoff I muss nämlich nicht notwendigerweise aus der Anlage selbst stammen und kann daher auch marktübliche Reinheit (mit höheren Kohlenmonoxid- und Wasserstoffgehalten) aufweisen.

[0057] Eine Gasphase aus der Abscheideeinrichtung 8 wird, ggf. nach Abgabe eines Teils an die Atmosphäre A, mittels eines Boosters der Boosterturbinenanordnung 9 druckerhöht, in einem Abschnitt des Hauptwärmetauschers 5 abgekühlt und danach in die Rektifikationskolonne 6 zurückgespeist, so dass der mehrfach erwähnte Kreislaufstrom gebildet wird. Ein Bypassstrom kann, wie in Form eines gestrichelten Strompfeils dargestellt, gebildet werden.

[0058] Der in dem Kondensatorverdampfer 7 zumindest teilweise kondensierte Stoffstrom 104, bzw. ein gebildetes Kondensat wird zu einem Teil in Form eines Stoffstroms 110 als Rücklauf auf die Rektifikationskolonne 6 verwendet. Ein weiterer Teil kann nach Unterkühlung in einem Unterkühler 10 als Flüssigstickstoff L in Form eines Stoffstroms 111 aus der Luftzerlegungsanlage 100 ausgeführt werden. Ein zur Unterkühlung verwendeter Anteil bildet den bereits erwähnten Stoffstrom 109.

[0059] Figur 2 veranschaulicht einen Teilaspekt einer Luftzerlegungsanlage gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0060] In Figur 2 ist im Wesentlichen veranschaulicht, wie in einer alternativen Ausgestaltung zu der in Figur 1 veranschaulichten Luftzerlegungsanlage 100 eine Anordnung vorgesehen sein kann, in der der Kondensatorverdampfer 7 innerhalb des Abscheidebehälters 8 angeordnet sein kann. Die übrigen Aspekte können im Wesentlichen identisch oder vergleichbar realisiert sein. Die Einbindung ergibt sich aus den in Figur 2 identisch wie in Figur 1 bezeichneten Stoffströmen.

[0061] Die Figuren 3 und 4 veranschaulichen Wärme-Temperatur-Diagramme eines Kondensatorverdampfers einer nicht erfindungsgemäßen Luftzerlegungsanlage und ein Wärme-Temperatur-Diagramm (Q-T-Diagramm) eines Kondensatorverdampfers einer Luftzerlegungsanlage gemäß einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung.

[0062] Die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz (engl. Logarithmic Mean Temperature Difference, Log-MTD) liegt bei dem in Figur 3 veranschaulichten Fall bei einem Wert von 1,50 K, in dem in Figur 4 veranschaulichten Fall bei einem Wert von 1,26 K. Die minimale Temperaturdifferenz (dT_{min}) liegt in beiden Fällen bei 0,5 K. Damit ergeben sich auch unter diesem Aspekt Vorteile der vorgeschlagenen Lösungen.

[0063] Es wurde eine Fallstudie durchgeführt, die sich auf die Gewinnung von 36.600 Normkubikmeter pro Stunde (Nm^3/h) gasförmiges Stickstoffprodukt bei 11,1 bar Absolutdruck bezogen. Die Gehalte an Argon und Sauerstoff in dem Stickstoffprodukt betragen 1 ppm bzw. weniger als 1 ppb. Es wurde kein Flüssigstickstoffprodukt bereitgestellt. Die nachfolgende Tabelle fasst in den Spaltengruppen "Stand der Technik" und "Ausgestaltungen d. Erf." dabei Simulationsergebnisse zusammen, die mit einer bestimmten (gleichen) Anzahl an Trennstufen in der Rektifikationskolonne für ein herkömmliches Verfahren wie eingangs erwähnt und Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung erhalten wurden. Hieraus ergibt sich eine spürbare Verbesserung der Leistung von ca. 2% für die Ausgestaltungen der Erfindung.

	Stand der Technik	Ausgestaltungen d. Erf.
Grundparameter		
Gesamtluftmenge [Nm^3/h]	60.127	59.019
Hauptluftverdichterdruck [bar (abs.)]	12,26	12,22
Ansaugdruck Kaltverdichter [bar (abs.)]	6,68	6,91
Zusammensetzung Kreislaufstrom		
Stickstoff [mol-%]	60,1	63,0
Argon [mol-%]	2,1	2,0

(fortgesetzt)

Zusammensetzung Kreislaufstrom		
Sauerstoff [mol-%]	37,8	35,0
Leistungsparameter		
Leistung Kaltverdichter [kW]	275,8	254,9
Leistungsaufnahme am Hauptluftverdichter relativ [%]	100	98,1

Patentansprüche

1. Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft (101), bei dem eine Luftzerlegungsanlage (100) mit einer Rektifikationskolonne (6) verwendet wird, wobei die Luft (101) aufbereitet, druckbeaufschlagt, abgekühlt, und in die Rektifikationskolonne (6) eingespeist wird, wobei der Rektifikationskolonne (6) gegenüber der Luft (101) an Stickstoff angereichertes und an Sauerstoff abgereichertes Kopfgas entnommen wird, wobei ein Teil (104) des der Rektifikationskolonne (6) entnommenen Kopfgases unter Verwendung eines Kondensatorverdampfers (7) und unter Erhalt eines Kondensats kondensiert oder teilkondensiert wird, wobei das Kondensat oder ein Teil (110) hiervon als Rücklauf auf die Rektifikationskolonne (6) zurückgeführt wird, wobei der Kondensatorverdampfer (7) unter Verwendung von gegenüber der Luft (101) an Stickstoff angereicherter und an Sauerstoff angereicherter und der Rektifikationskolonne (6) entnommener Flüssigkeit (106) gekühlt wird, und wobei ein Teil der der Rektifikationskolonne (6) entnommenen Flüssigkeit (106) nach der Verwendung zur Kühlung des Kondensatorverdampfers (7) in verdampfter Form einer Kaltverdichtung unterworfen und in die Rektifikationskolonne (6) zurückgespeist wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die der Rektifikationskolonne (6) entnommene Flüssigkeit (106) oder ein Teil hiervon durch den Kondensatorverdampfer (7) geführt, dabei teilweise verdampft, und danach einer Phasentrennung unter Verwendung einer Abscheideranordnung (8) unterworfen wird, der Abscheideranordnung (8) Flüssigkeit (108) entnommen wird, und die der Abscheideranordnung (8) entnommene Flüssigkeit (108) oder ein Teil hiervon druckreduziert und danach erneut durch den Kondensatorverdampfer (7) geführt und dabei teilweise oder vollständig verdampft wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem als die Abscheideranordnung (8) eine Anordnung verwendet wird, in der der Kondensatorverdampfer (7) innerhalb eines Abscheiderbehälters (8) angeordnet ist.
3. Verfahren Anspruch 1 oder Anspruch 2, bei dem der Abscheideranordnung (8) Gas (107) entnommen wird, wobei der Teil der der Rektifikationskolonne (6) entnommenen Flüssigkeit (106), der nach der Verwendung zur Kühlung des Kondensatorverdampfers (7) in verdampfter Form einer Kaltverdichtung unterworfen und in die Rektifikationskolonne (6) zurückgespeist wird, das der Abscheideranordnung (8) entnommene Gas (107) oder einen Teil hiervon umfasst.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die der Abscheideranordnung (8) entnommene unverdampfte Flüssigkeit (108) oder der Teil hiervon, der erneut durch den Kondensatorverdampfer (7) geführt und teilweise oder vollständig verdampft wird, oder ein Teil hiervon, einer Entspannung unterworfen und insbesondere in einem Hauptwärmetauscher (5) erwärmt und aus der Luftzerlegungsanlage (100) ausgeführt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem die Kaltverdichtung und die Entspannung unter Verwendung einer Turbinenanordnung (9) durchgeführt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem die Turbinenanordnung (9) eine Boosterturbinenanordnung ist und/oder unter Verwendung einer Bremseinrichtung umfassend eine Ölbremse und/oder einen Generator gebremst wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die durch den Kondensatorverdampfer (7) geführten Flüssigkeiten (106, 108) jeweils mittels ihres Leitungsdrucks einmalig und von unten nach oben durch unterschiedliche Passagen des Kondensatorverdampfers (7) geführt werden.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das der Rektifikationskolonne (6) entnommene Kopfgas zu einem weiteren Teil (105) zur Bereitstellung eines gasförmigen Druckstickstoffprodukts (N) verwendet wird.

EP 4 428 474 A1

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Luftzerlegungsanlage (100) eine weitere Rektifikationskolonne aufweist, die zur Bereitstellung eines sauerstoffreichen Luftprodukts verwendet wird.

5 10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Rektifikationskolonne (6) auf einem Druckniveau von 8 bis 14 bar betrieben wird.

11. Verfahren (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Booster der Boosterturbine (9) mit einer Eintrittstemperatur in einem Temperaturbereich von -175 bis -160 °C betrieben wird.

10 12. Luftzerlegungsanlage (100) mit einer Rektifikationskolonne (6), die dafür eingerichtet ist, Luft (101) aufzubereiten, mit Druck zu beaufschlagen, abzukühlen, und in die Rektifikationskolonne (6) einzuspeisen, der Rektifikationskolonne (6) ein gegenüber der Luft (101) an Stickstoff angereichertes und an Sauerstoff abgereichertes Kopfgas zu entnehmen, einen Teil (104) des der Rektifikationskolonne (6) entnommenen Kopfgases unter Verwendung eines Kondensatorverdampfers (7) und unter Erhalt eines Kondensats zu kondensieren oder teilweise zu kondensieren, 15 das Kondensat oder einen Teil (110) hiervon als Rücklauf auf die Rektifikationskolonne (6) zurückzuführen, den Kondensatorverdampfer (7) unter Verwendung von gegenüber der Luft (101) an Stickstoff angereicherter und an Sauerstoff angereicherter und der Rektifikationskolonne (6) entnommener Flüssigkeit (106) zu kühlen, und einen Teil der der Rektifikationskolonne (6) entnommenen Flüssigkeit (106) nach der Verwendung zur Kühlung des Kondensatorverdampfers (7) in verdampfter Form einer Kaltverdichtung zu unterwerfen und in die Rektifikationskolonne (6) zurückzuspeisen, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anlage (100) dafür eingerichtet ist, die der Rektifikationskolonne (6) entnommene Flüssigkeit (106) oder einen Teil hiervon durch den Kondensatorverdampfer (7) zu 20 führen, dabei teilweise zu verdampfen, und danach einer Phasentrennung in einer Abscheideranordnung (8) zu unterwerfen, der Abscheideranordnung (8) Flüssigkeit (108) zu entnehmen, und die der Abscheideranordnung (8) entnommene Flüssigkeit (108) oder einen Teil hiervon einer Druckreduktion zu unterwerfen und danach erneut durch den Kondensatorverdampfer (7) zu führen und hierbei teilweise zu verdampfen oder vollständig zu verdampfen. 25

13. Luftzerlegungsanlage (100) nach Anspruch 12, die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 eingerichtet ist.

30

35

40

45

50

55

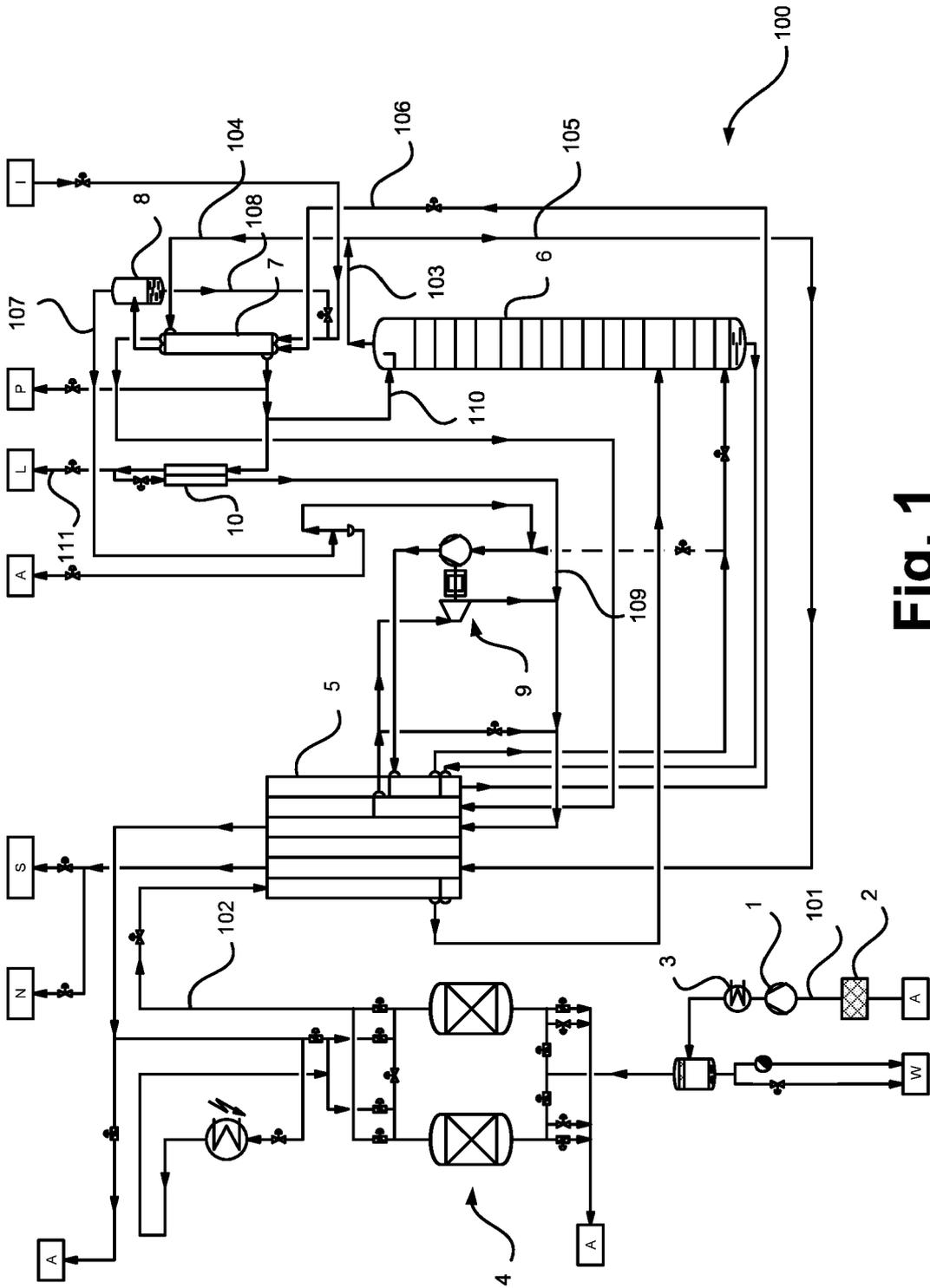


Fig. 1

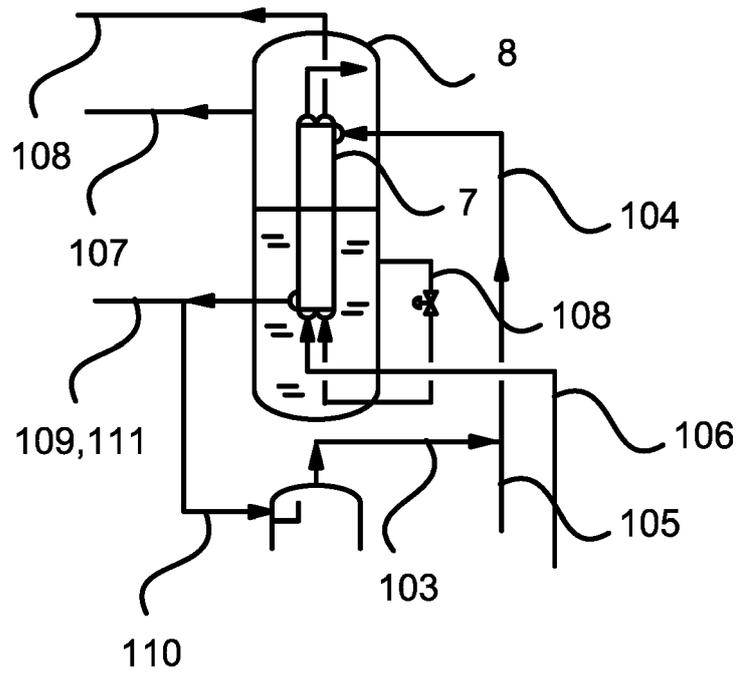


Fig. 2

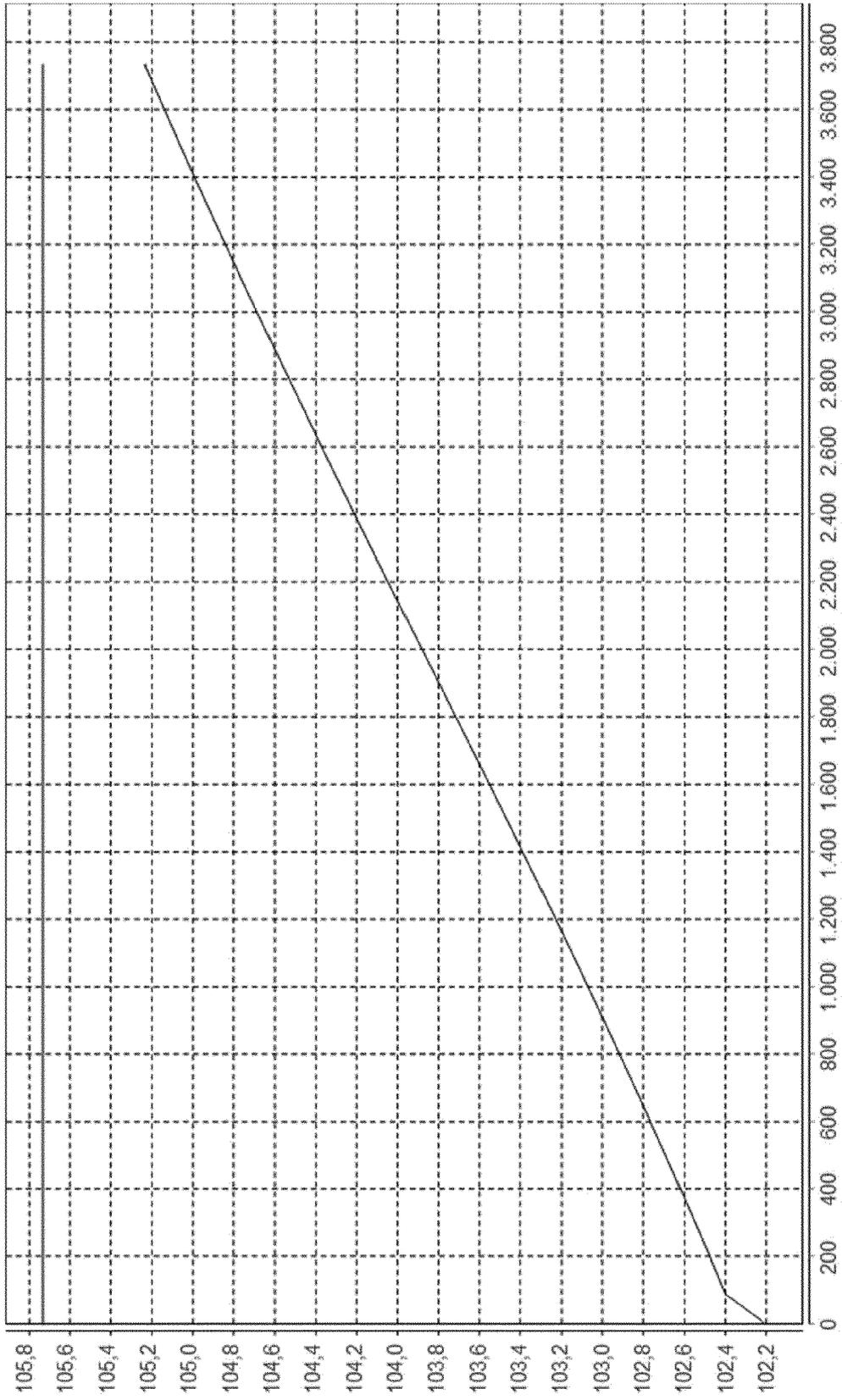


Fig. 3

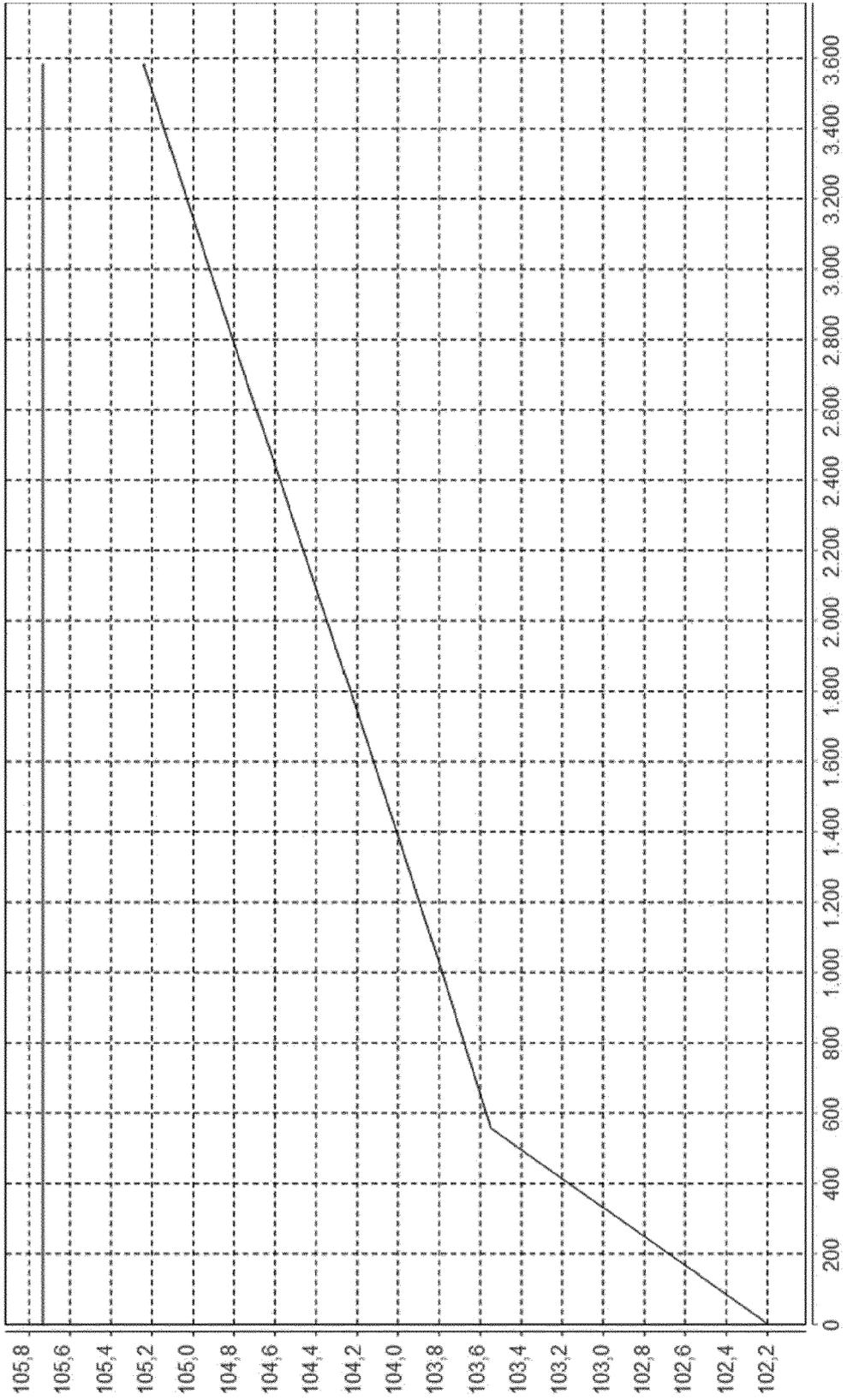


Fig. 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 02 0111

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 3 919 439 A1 (TAIYO NIPPON SANSO CORP [JP]) 8. Dezember 2021 (2021-12-08)	1-8, 10-13	INV. F25J3/04
Y	* Abbildungen 7,8,11 * -----	2,7,9	F25J5/00
X,D	EP 1 156 291 A1 (PRAXAIR TECHNOLOGY INC [US]) 21. November 2001 (2001-11-21)	1,3-13	
Y	* Zeilen 20-23, Absatz 32; Abbildungen * -----	2,9	
X	CN 115 540 500 A (UNIV HENAN) 30. Dezember 2022 (2022-12-30)	1,3-6,8, 10-13	
Y	* Seiten 3,6; Abbildung * -----	2,7,9	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F25J
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 15. September 2023	Prüfer Göritz, Dirk
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1
EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

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

EP 23 02 0111

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

15-09-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 3919439 A1	08-12-2021	CN 113348146 A	03-09-2021
		EP 3919439 A1	08-12-2021
		JP WO2020158734 A1	02-12-2021
		US 2022082325 A1	17-03-2022
		WO 2020158734 A1	06-08-2020

EP 1156291 A1	21-11-2001	BR 0102006 A	26-12-2001
		CA 2347762 A1	18-11-2001
		CN 1326085 A	12-12-2001
		EP 1156291 A1	21-11-2001
		JP 2002005569 A	09-01-2002
		KR 20010105207 A	28-11-2001
		US 6279345 B1	28-08-2001

CN 115540500 A	30-12-2022	KEINE	

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 5582034 A [0003]
- WO 2021180362 A1 [0004] [0026]
- US 4966002 A [0020]
- US 6279345 B1 [0021]
- WO 2020083525 A1 [0040]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

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