

(19)



(11)

EP 4 488 605 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
08.01.2025 Patentblatt 2025/02

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

(21) Anmeldenummer: **23020327.5**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
**F25J 3/04357; F25J 3/0409; F25J 3/04096;
F25J 3/0423; F25J 3/04321; F25J 3/04393;
F25J 3/04642; F25J 3/04715; F25J 3/04727;
F25J 3/04745; F25J 3/04878; F25J 2200/06;
F25J 2200/20; F25J 2200/32; F25J 2200/34;**

(22) Anmeldetag: **03.07.2023**

(Forts.)

(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

(72) Erfinder: **Golubev, Dimitri**
82049 Pullach (DE)

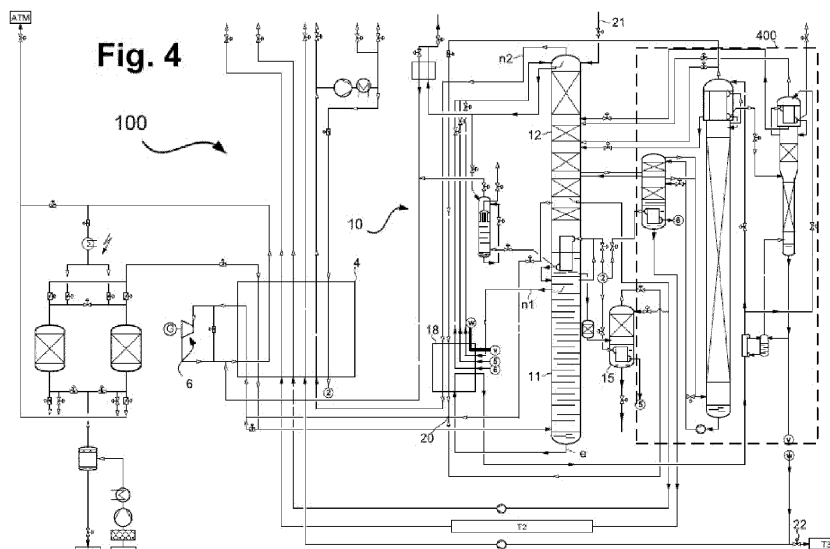
(74) Vertreter: **Imhof, Dietmar**
Linde GmbH
Intellectual Property EMEA
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14
82049 Pullach (DE)

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

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

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft unter Verwendung einer Luftzerlegungsanlage (100-300) mit einem Hauptwärmetauscher (4) und einen Unterkühlungsgegenströmer (18) sowie einem Rektifikationskolonnensystem (10), das eine Hochdruckkolonne (11), eine Niederdruckkolonne (12) und ein Argonsystem (400) aufweist. Das Argonsystem (400) weist eine Rohargonkolonne (13a, 13b) aufweist, die unter einem Druck betrieben wird, der höher

als 1,8 bar ist. In dem Unterkühlungsgegenströmer (18) wird mindestens ein flüssiger Strom (e, n1) aus der Hochdruckkolonne (11) gegen mindestens einen gasförmigen Strom (n2) aus der Niederdruckkolonne (12) abgekühlt. Das flüssige Argonprodukt (v) aus dem Argonsystem (400) wird vor seiner Abgabe als Endprodukt in den Unterkühlungsgegenströmer (18) eingeleitet und dort abgekühlt. Außerdem betrifft die Erfindung eine entsprechende Luftzerlegungsanlage.

**EP 4 488 605 A1**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC): (Forts.)
F25J 2215/30; F25J 2215/32; F25J 2215/52;
F25J 2215/56; F25J 2235/04; F25J 2245/02;
F25J 2245/40; F25J 2270/02

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft und eine Luftzerlegungsanlage gemäß den jeweiligen Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche.

Hintergrund der Erfindung

[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. Nachfolgend werden für die in einer Luftzerlegungsanlage eingesetzten Komponenten und Anlagenteile die aus der Fachliteratur bekannten Bezeichnungen verwendet.

[0003] Figur 2.3a auf Seite 22 der Monografie von Häring zeigt ein übliches Verfahren mit Linde-Doppelsäule und einem Argonsystem, das eine Rohargonkolonne und eine Reinargonkolonne und die zugehörigen Kopfkühlungen und Sumpfheizungen aufweist. Das Argonprodukt wird am Sumpf der Reinargonkolonne in flüssigem Zustand entnommen und in einen Produkttank geleitet. Üblicherweise wird das Argonsystem unter sehr niedrigem Druck betrieben, das heißt das flüssige Argonprodukt kann ohne nennenswerte Entspannung in den Produkttank eingeleitet werden, der üblicherweise etwa bei Atmosphärendruck betrieben wird.

[0004] Anders sieht es aus, wenn die gesamte Anlage und damit auch das Argonsystem unter erhöhtem Druck betrieben werden und in der Rohargonsäule beispielsweise ein Druck von mehr als 1,8 bar oder mehr als 2,0 bar herrscht. Dann muss das flüssige Argonprodukt vor der Einleitung in den Tank auf den Tankdruck entspannt werden. Dabei entsteht Flashgas, das für die Produktgewinnung verloren geht. (Alle Druckangaben in dieser Anmeldung sind als Absolutdrücke zu verstehen, wenn nichts anderes angegeben ist. Bei Kolonnendrücken ist der Druck am Kopf der Kolonne gemeint, wenn nichts anderes gesagt ist.)

[0005] Ein solches Verfahren mit erhöhtem Druck in der Doppelsäule und auch im Argonsystem ist aus WO 2021204424 A2 bekannt.

[0006] Üblich ist es, das Flashgas in die Reinargonsäule zurückzuleiten oder in der Nähe des Tanks in einem separaten Rückverflüssigungswärmetauscher durch indirekten Wärmeaustausch mit flüssigem Stickstoff rückzuverflüssigen. Dies bedeutet zwar einen hohen Aufwand, ist aber auch betriebstechnisch unproblematisch.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art so zu gestalten, dass die Flashgaserzeugung im flüssigen Argonprodukt möglichst gering ist, eine vergleichsweise geringer apparativen Aufwand erforderlich ist und die Lösung betriebstechnisch unproblematisch bleibt.

[0007] Vor diesem Hintergrund schlägt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft und eine Luftzerlegungsanlage mit den Merkmalen der jeweiligen unabhängigen Patentansprüche vor. Ausgestaltungen sind jeweils Gegenstand der abhängigen Patentansprüche und der nachfolgenden Beschreibung.

[0008] Erfindungsgemäß wird das flüssige Argonprodukt vor seiner Entnahme als Endprodukt (und insbesondere vor seiner Entspannung auf Niederdruck) in dem ohnehin vorhandenen Unterkühlungsgegenströmer der Luftzerlegungsanlage abgekühlt. Diese Abkühlung wird oft auch als Unterkühlung bezeichnet; gemeint ist dabei die Abkühlung auf eine Temperatur (deutlich) unterhalb des Taupunkts.

[0009] Rückschauend scheint die Verwendung einer ohnehin vorhandenen Wärmetauschers nahe liegend. Allerdings hat nach unserer Kenntnis noch niemand den klassischen Unterkühlungsgegenströmer für eine Unterkühlung von Argonprodukt eingesetzt. Dies hat auch gute Gründe. Da dort regelmäßige sehr kalte Ströme, zum Beispiel vom Kopf der Niederdruckkolonne eingesetzt werden, besteht auch hier die Gefahr des gefürchteten Ausfrierens von Argon, die an dieser Stelle auch nicht durch eine Regelung vermindert werden könnte. Erst bei noch näherer Untersuchung im Rahmen der Erfindung hat sich überraschenderweise herausgestellt, dass bei der Verwendung des Unterkühlungsgegenströmers zur Abkühlung von flüssigem Argonprodukt keine Vorkehrungen zur Verhinderung des Ausfrieren notwendig sind, und zwar bei allen Betriebszuständen. Vielmehr sichert der ganz normale Betrieb des Unterkühlungsgegenströmers bei der Erfindung das System gegen Ausfrieren von Argon.

[0010] Die Drücke in den Rektifikationskolonnen (jeweils am Kopf) betragen bei der Erfindung vorzugsweise

Hochdruckkolonne	9 bis 14,5 bar
Niederdruckkolonne	2 bis 5 bar
Argonsystem (Rohargonkolonne)	1,8 bis 4,8 bar
Argonsystem (Reinargonkolonne)	1,8 bis 4,8 bar

[0011] Beliebige weitere Rektifikationskolonnen können in Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung verwendet werden, insbesondere eine weitere Rektifikationskolonne zur Gewinnung eines Sauerstoffprodukts und/oder eine weitere

Rektifikationskolonne zur Gewinnung eines Krypton/Xenon-Rohgemischs und/oder eine weitere Rektifikationskolonne zur Gewinnung eines Helium/Neon-Rohgemischs, wobei zur Bildung von Krypton/Xenon-Rohgemischen bzw. Helium/Neon-Rohgemischen ebenfalls auf die zitierte Fachliteratur verwiesen wird. In entsprechenden Ausgestaltungen kann der Turbinenkreislaufstrom oder ein Teil hiervon als Heizmedium für die Sumpfordampfer entsprechender Kolonnen verwendet werden.

[0012] Vorzugsweise wird das flüssige Argonprodukt nach der Abkühlung im Unterkühlungsgegenströmer (18) und vor der Abgabe als Endprodukt entspannt. Diese Entspannung wird in der Regel in einem Drosselventil vorgenommen. Dabei wird der Druck um vorzugsweise mindestens 0,5 bar, insbesondere 1.0 bis 2.0 bar oder auch mindestens 2,5 bar vermindert.

[0013] Vorzugsweise wird das abgekühlte und entspannte Argonprodukt in einen Flüssigtank eingeleitet, aus dem das Endprodukt entnommen wird.

[0014] Bei der Erfindung kann das gesamte Endprodukt oder ein erster Teil davon als flüssiges Endprodukt aus dem Flüssigtank abgezogen. Dieser Abzug kann kontinuierlich oder intermittierend erfolgen.

[0015] Alternativ oder zusätzlich kann das gesamte Endprodukt oder ein zweiter Teil davon als gasförmiges Endprodukt gewonnen werden mit Verdampfung im Hauptwärmetauscher. Das Endprodukt kann unter Niederdruck oder - zum Beispiel unter Hochdruck mittels Innenverdichtung gewonnen werden. Im Falle überkritischen Drucks wird im Hauptwärmetauscher pseudo-verdampft statt im engeren Sinne verdampft, das heißt ohne Phasenübergang angewärmt.

[0016] Es ist ferner günstig, wenn das flüssige Argonprodukt dem Unterkühlungsgegenströmer bei einer Zwischentemperatur zugeführt und am kalten Ende entnommen wird. Die entsprechenden Temperaturwerte im Unterkühlungsgegenströmer sind beispielsweise:

Zwischentemperatur	105 bis 93 K, vorzugsweise 102,7 bis 94,2 K
Kaltes Ende	94,5 bis 84,3 K, vorzugsweise 91,7 bis 85,1 K
Warmes Ende	113,3 bis 104,0 K, vorzugsweise 111,3 bis 104,0 K

[0017] Das flüssige Argon durchströmt den Unterkühler unter einem Druck von 1,8 bar bis 4,8 bar, insbesondere 2,0 bis 4,0 bar.

[0018] Der gasförmige Strom, der aus der Niederdruckkolonne in den Unterkühlungsgegenströmer eingeleitet wird, kann insbesondere durch gasförmigen Stickstoff vom Kopf der Niederdruckkolonne gebildet werden. Die obigen Werte gelten insbesondere dann, wenn dieser gasförmige Stickstoff einen Druck von 2 bis 5 bar, insbesondere von 2,2 bis 4,2 bar aufweist. Dies wurde für eine minimale Temperaturdifferenz im Unterkühler (zwischen flüssigem Argon und Stickstoff) von 0,5 K berechnet.

[0019] Vorzugsweise wird das flüssige Argon in dem Unterkühlungsgegenströmer im Kreuzgegenstrom zu dem gasförmigen Strom aus der Niederdruckkolonne geführt. Dazu enthält der Unterkühlungsgegenströmer neben den Gegenstrompassagen einen Kreuzgang, der insbesondere unmittelbar am kalten Ende angeordnet ist.

[0020] Vorzugsweise wird der Unterkühlungsgegenströmer so betrieben, dass die Temperatur des flüssigen Argonprodukts am Austritt aus dem Unterkühlungsgegenströmer niedriger als die Austrittstemperatur des flüssigen Stroms aus der Hochdruckkolonne ist, insbesondere sogar niedriger als die Austrittstemperatur aller anderen flüssigen Ströme, die im Unterkühlungsgegenströmer abgekühlt werden.

[0021] Dabei ist es möglich, dass die Temperatur des flüssigen Argonprodukts am Austritt aus dem Unterkühlungsgegenströmer nicht geregelt wird. Da die Temperatur des kältesten Stroms im Unterkühlungsgegenströmer, der üblicherweise durch gasförmigen Stickstoff aus der Niederdruckkolonne gebildet wird, höher als die Tripelpunkttemperatur von Argon ist, kann das flüssige Argon nicht ausfrieren.

[0022] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigelegten Zeichnungen näher erläutert, die die bevorzugten Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung veranschaulichen.

Figurenbeschreibung

[0023] Die Figuren 1 bis 4 veranschaulichen Luftzerlegungsanlagen gemäß unterschiedlicher Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung.

[0024] In den Figuren sind einander baulich oder funktional entsprechende Elemente mit identischen Bezugszeichen angegeben und werden der Übersichtlichkeit halber nicht wiederholt erläutert. Anlagen und Anlagenkomponenten betreffende Erläuterungen gelten für entsprechende Verfahren und Verfahrensschritte in gleicher Weise.

[0025] In Figur 1 ist eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung in Form eines vereinfachten Prozessflussdiagramms veranschaulicht und insgesamt mit 100 bezeichnet.

[0026] In der Luftzerlegungsanlage 100 wird Luft mittels eines Hauptluftverdichters 1 über einen Filter 2 angesaugt und auf ein Druckniveau von beispielsweise ca. 12,5 bar verdichtet. Die entsprechend verdichtete Luft wird nach Kühlung und

Abscheiden von Wasser in einer Adsorberstation 3, die in an sich bekannter Art ausgestaltet sein kann, von Restwasser und Kohlendioxid befreit. Zur Ausgestaltung der angesprochenen Komponenten sei auf die eingangs zitierte Fachliteratur verwiesen.

[0027] Ein entsprechend gebildeter Druckluftstrom a wird vom warmen zum kalten Ende durch einen Hauptwärmetauscher 4 geführt und hier in im Wesentlichen gasförmigem Zustand in eine Druckkolonne 11 ("erste Rektifikationskolonne") eines Rektifikationskolonnensystems 10 eingespeist. Das Rektifikationskolonnensystem 10 weist im dargestellten Beispiel neben der Druckkolonne 11 eine Niederdruckkolonne 12 ("zweite Rektifikationskolonne") und ein Argonsystem (400) auf, das seinerseits eine zweigeteilte Rohargonkolonne 13 ("dritte Rektifikationskolonne") mit zwei Kolonnenteilen 13a (oberer Teil) und 13b (unterer Teil) sowie eine Reinargonkolonne 14 aufweist. Ferner sind eine Rektifikationskolonne 15 zur Gewinnung eines Krypton/Xenon-Rohgemischs und eine Rektifikationskolonne 16 zur Gewinnung eines Helium/Neon-Rohgemischs bereitgestellt. Die Druckkolonne 11 ist mit der Niederdruckkolonne 12 über einen Hauptkondensator 11a wärmetauschend verbunden, der beispielsweise als mehrstöckiger Badverdampfer ausgebildet sein kann, und im Sumpf der Rektifikationskolonne 15 zur Gewinnung des Krypton/Xenon-Rohgemischs ist ein Sumpfverdampfer 15a angeordnet. Dem Rektifikationskolonnensystem 10 ist ferner im dargestellten Beispiel ein Unterkühlungsgegenströmer 18 zugeordnet.

[0028] Am Kopf der Druckkolonne 11 wird ein Kopfgas gebildet. Dieses wird im dargestellten Beispiel zu einem Teil in Form eines Stoffstroms b durch den Hauptkondensator 11a und zu einem weiteren Teil in Form eines Stoffstroms c durch den Sumpfverdampfer 15a der Rektifikationskolonne 15 zur Gewinnung des Krypton/Xenon-Rohgemischs geführt. In dem Hauptkondensator 11a gebildetes Kondensat wird in die Druckkolonne 11 zurückgeführt. Ein nicht kondensierter Anteil wird in die Rektifikationskolonne 16 zur Gewinnung des Helium/Neon-Rohgemischs eingespeist. Weiteres Kondensat, das sich in dem Sumpfverdampfer 15a der Rektifikationskolonne 15 zur Gewinnung eines Krypton/Xenon-Rohgemischs bildet, kann in Form eines Flüssigstickstoffstroms m durch den Unterkühlungsgegenströmer 18 geführt und am Kopf der Niederdruckkolonne 12 in diese eingespeist werden. Über eine Flüssigkeitsentnahme am Kopf der Druckkolonne entnommenes Kondensat b1 kann so behandelt werden. Zu dem Kopfgas der Druckkolonne 11 kann ein Stoffstrom d zugespeist werden, der im Hauptwärmetauscher 4 abgekühlt wurde. Dessen Herkunft wird unten erläutert.

[0029] Im Sumpf der Druckkolonne 11 wird eine Sumpfflüssigkeit gebildet und in Form eines Stoffstroms e aus dieser abgezogen. Der Stoffstrom e wird zunächst durch den Unterkühlungsgegenströmer 18 geführt und danach in an sich bekannter Weise zur Kühlung von nicht gesondert bezeichneten Kopfkondensatoren der Rohargonkolonne 13 und der Reinargonkolonne 14 verwendet. Verdampfte und unverdampfte Anteile werden in Form von Stoffströmen f in die Niederdruckkolonne 12 eingespeist bzw. zur Bildung des unten erläuterten Stoffstroms k verwendet.

[0030] In der Niederdruckkolonne 12 wird Sumpfflüssigkeit ("zweite Sumpfflüssigkeit") gebildet, die in einen Verdampfungsraum des Hauptkondensators 11a eingespeist wird, und aus dem Hauptkondensator 11a wird Gas in die Niederdruckkolonne 11 am Sumpf eingespeist. Oberhalb des Sumpfs wird aus der Niederdruckkolonne 11 Flüssigkeit h abgezogen. Diese wird zu einem ersten Teil in Form eines Stoffstroms h1 in einer Pumpe 5 druckerhöht, im Hauptwärmetauscher 4 erwärmt und als innenverdichtetes Sauerstoffprodukt ausgeleitet. Zu einem zweiten Teil wird die Flüssigkeit h in Form eines Stoffstroms h2 in die Rektifikationskolonne 15 zur Gewinnung des Krypton/Xenon-Rohgemischs eingespeist, und zu einem dritten Teil in Form eines Stoffstroms h3 insbesondere als Flüssigprodukt aus der Luftzerlegungsanlage 100 ausgeführt.

[0031] Oberhalb des Sumpfs wird Gas aus der Niederdruckkolonne 12 in Form eines Stoffstroms i abgezogen, mit nachfolgend erläuterten Stoffströmen k und o zu einem Sammelstrom l mit einem Gehalt von beispielsweise ca. 90% Sauerstoff vereinigt, im Hauptwärmetauscher 4 teilerwärmt, in einer Generatorturbine bzw. Restgasturbine 6 entspannt, erneut im Hauptwärmetauscher 4 erwärmt, und beispielsweise als Regeneriergas in der Adsorberstation 3 eingesetzt.

[0032] Ein gasförmiger Druckstickstoffstrom wird in Form eines Stoffstroms n vom Kopf der Niederdruckkolonne 12 abgezogen. Dieser liegt beispielsweise auf einem Druckniveau von ca. 3,5 bar vor und weist einen Gehalt von beispielsweise ca. 50 ppb Sauerstoff auf. Er wird zur Bildung eines Turbinenkreislaufstroms verwendet, der zunächst in dem Unterkühlungsgegenströmer 18 erwärmt ("erste Erwärmung"), danach im Hauptwärmetauscher 4 erwärmt ("zweite Erwärmung"), in einem Verdichter 7 und danach in einem Booster einer Boosterturbinenanordnung 9 verdichtet, im Hauptwärmetauscher 4 wieder abgekühlt, und in einer Entspannungsturbine der Boosterturbinenanordnung 9, entspannt wird. Der Kreislauf wird durch die Einspeisung in den Unterkühlungsgegenströmer 18 geschlossen. Der erwähnte Stoffstrom n wird stromab des Verdichters 7 abgezweigt und in dem Hauptwärmetauscher 4 abgekühlt. Stromauf und stromab des Verdichters 7 können weitere Teilströme abgezweigt und unter z.B. als Druckstickstoffprodukt, Blow-Off-Gas und Dichtgas abgezweigt werden. Beliebige Kombinationen sind möglich. Teilweise zusammen mit dem Turbinenkreislaufstrom wird ein Rektifikationskreislaufstrom geführt, der aber nicht der zweiten Verdichtung und Entspannung unterworfen, sondern im Hauptwärmetauscher 4 abgekühlt und danach wie erläutert verwendet wird.

[0033] Aus der Niederdruckkolonne 11 wird in Form eines Stoffstroms o an Argon angereichertes Gas entnommen und in die Rohargonkolonne 13 eingespeist. Aus der Rohargonkolonne 13 wird Sumpfflüssigkeit in Form eines Stoffstroms p mittels einer nicht gesondert bezeichneten Pumpe in die Niederdruckkolonne 11 zurückgeführt.

[0034] Der Betrieb der Rohargonkolonne 13 und der Reinargonkolonne 14 entspricht im Wesentlichen dem im Stand

der Technik Bekannten und wird nicht gesondert erläutert. Aus der Reinargonkolonne 14 wird ein Reinargonstrom v als flüssiges Argonprodukt abgezogen, der erfindungsgemäß in dem Unterkühlungsgegenströmer 18 abgekühlt wird. Der abgekühlte Argonproduktstrom w bezeichnet wird in einem Flüssigtank T eingeleitet und dort gespeichert bzw. zwischengespeichert. Grundsätzlich kann aus dem Flüssigtank T unmittelbar ein flüssiges Endprodukt entnommen und beispielsweise in einen Tankwagen abgefüllt werden. Im Beispiel der Figur 1 wird flüssiges Argonprodukt aus dem Tank entnommen, in dem Hauptwärmetauscher 4 verdampft und angewärmt und schließlich als gasförmiges Endprodukt x gewonnen mit einem Gehalt von beispielsweise ca. 200 ppb Sauerstoff. Der für den Abzug des gasförmigen Endprodukts benötigte Druck kann beispielsweise durch Druckaufbauverdampfung oder durch eine Pumpe erzeugt werden.

[0035] Der erwähnte Stoffstrom k wird unter Verwendung von Gas gebildet, das dem Kopfkondensator der Rohargonkolonne 13 entnommen wird. Der Stoffstrom o stammt vom Kopf der Rektifikationskolonne 15 zur Gewinnung des Krypton/Xenon-Rohgemischs, aus deren Sumpf das Krypton/Xenon-Rohgemisch in Form eines nicht gesondert bezeichneten Stoffstroms entnommen wird.

[0036] Am Kopf der Niederdruckkolonne 12 wird Flüssigkeit entnommen und zu einem Teil in Form eines Stoffstroms x unterkühlt und als Flüssigstickstoffprodukt bereitgestellt, sowie zu einem weiteren Teil y in einen Verdampfungsraum der Rektifikationskolonne 16 zur Gewinnung des Helium/Neon-Rohgemischs eingespeist, welches in Form eines Stoffstroms z hieraus abgezogen wird.

[0037] In Figur 2 ist eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung in Form eines vereinfachten Prozessflussdiagramms veranschaulicht und insgesamt mit 200 bezeichnet.

[0038] Die in Figur 2 veranschaulichte Luftzerlegungsanlage 200 weist im Gegensatz zur Luftzerlegungsanlage 100 gemäß Figur 1 eine einteilige Rohargonkolonne 13 sowie keinen separaten Behälter für die Niederdruckkolonne 12 auf. Ferner ist eine Reinsauerstoffkolonne 7 vorhanden. Diese wird mit einem Sumpfverdampfer 17a betrieben und weist einen oberen Bereich und einen unteren Bereich auf, die mittels einer Trennwand 17b voneinander getrennt sind. Der obere Bereich wird mit dem Stoffstrom o gespeist und aus diesem wird der Stoffstrom p entnommen. Funktionell handelt es sich um einen "ausgelagerten Sauerstoffabschnitt" der Niederdruckkolonne. Der Sumpfverdampfer 17a wird mit dem Stoffstrom d betrieben. Ein gebildetes Kondensat u wird wie der Stoffstrom m behandelt. Der obere und der untere Teil der Reinsauerstoffkolonne 17 werden mit Sumpfflüssigkeit r aus der Rohargonkolonne als Rücklauf betrieben, und Kopfgas s aus den Teilen der Reinsauerstoffkolonne 17 wird in die Rohargonkolonne 13 eingespeist. Reinsauerstoff wird in Form eines Stoffstroms t aus der Reinsauerstoffkolonne 17 abgezogen, beispielsweise mittels eines Tanksystems T2 druckaufbauverdampft, und aus der Anlage ausgeführt. Ein derartiges Tanksystem ist beispielsweise in US 10209004 B2 beschrieben. Ferner ist hier ein Flüssigargontanksystem T3 dargestellt, in das ein erster Teil des abgekühlten flüssigen Argonprodukts w nach Entspannung in einem Ventil E eingeleitet wird. Ein zweiter Teil wird mittels einer Argonpumpe P auf einen hohen Produktdruck von beispielsweise 12 bar gebracht und dann ähnlich wie in Figur 1 im Hauptwärmetauscher 4 verdampft und auf Umgebungstemperatur angewärmt (Innenverdichtung). Das warme Druckargonprodukt xx wird als gasförmiges Endprodukt gewonnen. Alternativ kann die Aufteilung zwischen Tank T3 und Innenverdichtung (Pumpe P) stromaufwärts der Unterkühlers 18 durchgeführt werden, zum Beispiel in der Leitung v.

[0039] Alternativ zu der Darstellung in der Zeichnung kann der Flüssigtank T3 auch wie der Tank T in Figur 1 geschaltet sein; dann wird die Flüssigkeit für die Pumpe P aus dem Tank T entnommen.

[0040] In Figur 3 ist eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung in Form eines vereinfachten Prozessflussdiagramms veranschaulicht und insgesamt mit 300 bezeichnet. Sie entspricht in weiten Teilen Figur 2.

[0041] Die in Figur 3 veranschaulichte Luftzerlegungsanlage 300 weist im Gegensatz zur Luftzerlegungsanlage 200 gemäß Figur 2 einen Bypass um den Unterkühlungsgegenströmer 18 auf, so dass der Stoffstrom n nach seiner Entspannung in Anteile n1 und/oder n2 stromauf oder stromab des Unterkühlungsgegenströmers 18 rückgespeist werden kann.

[0042] Die Behandlung des flüssigen Argonprodukts v ist dieselbe wie in Figur 2.

[0043] Figur 4 entspricht ebenso weitgehend Figur 2. Allerdings ist diese Variante nicht als Zwei-Turbinen-System, sondern als Ein-Turbinen-System ausgebildet mit der aus Figur 2 an sich bekannten Mischgasturbine 6 als einziger interner Kältequelle. Der Mischstrom wird in diesem Beispiel (und ebenso in den Figuren 1 bis 3) durch Vermischung mehrerer Restströme aus der Niederdruckkolonne beziehungsweise aus der Krypton-Xenon-Anreicherungskolonne 15 und dem Verdampfungsraum des Kopfkondensators der Rohargonkolonne gebildet. (Ohne Krypton-Xenon-Gewinnung sind es nur zwei Ströme.) Ein zweite Turbine gibt es in Figur 4 nicht. Externe Kälte (Liquid Assist) kann über ein Flüssigstickstoffleitung 21 eingeführt werden, zum Beispiel auf den Kopf der Niederdruckkolonne.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft unter Verwendung einer Luftzerlegungsanlage (100-300) mit einem Hauptwärmetauscher (4) und einen Unterkühlungsgegenströmer (18) sowie einem Rektifikationskolonnensystem

(10), das eine Hochdruckkolonne (11), eine Niederdruckkolonne (12) und ein Argonsystem (400) aufweist, bei dem

- die Hochdruckkolonne (11) unter einem ersten Druck betrieben wird,
- die Niederdruckkolonne (11) unter einem zweiten Druck betrieben wird, der niedriger als der erste Druck ist,
- das Argonsystem (400) eine Rohargonkolonne (13a, 13b) aufweist, die unter einem dritten Druck betrieben wird, der höher als 1,8 bar ist,
- gasförmige oder teilverflüssigte Druckluft in dem Hauptwärmetauscher (4) abgekühlt und in die Hochdruckkolonne (11) eingeleitet wird,
- Sumpfflüssigkeit (e) aus der ersten Rektifikationskolonne (11) entnommen und direkt oder indirekt in die Niederdruckkolonne (12) eingeleitet wird,
- in dem Unterkühlungsgegenströmer (18)
- mindestens ein flüssiger Strom (e, n1) aus der Hochdruckkolonne (11) in dem Unterkühlungsgegenströmer (18) gekühlt wird,
- mindestens ein gasförmiger Strom (n2) aus der Niederdruckkolonne (12) in dem Unterkühlungsgegenströmer (18) angewärmt wird,
- ein argonangereichertes Fluid (o) aus der Niederdruckkolonne (12) entnommen und in das Argonsystem (400) eingeleitet wird,
- ein flüssiges Argonprodukt (v) aus dem Argonsystem (400) entnommen und als Endprodukt gewonnen wird,
dadurch gekennzeichnet, dass
- das flüssige Argonprodukt (v) vor seiner Abgabe als Endprodukt in den Unterkühlungsgegenströmer (18) eingeleitet und dort abgekühlt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das flüssige Argonprodukt (w) nach der Abkühlung im Unterkühlungsgegenströmer (18) und vor der Abgabe als Endprodukt entspannt (22) wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem das abgekühlte und entspannte Argonprodukt in einen Flüssigtank (T, T3) eingeleitet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem mindestens ein erster Teil des Endprodukts als flüssiges Endprodukt aus dem Flüssigtank abgezogen wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, bei dem mindestens ein zweiter Teil des Endprodukts flüssig aus dem Flüssigtank entnommen, mittels einer kryogenen Pumpe (P) auf Druck gebracht, im Hauptwärmetauscher (4) verdampft oder pseudo-verdampft und angewärmt und schließlich als gasförmiges Endprodukt gewonnen wird.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das flüssige Argonprodukt (v) dem Unterkühlungsgegenströmer (18) bei einer Zwischentemperatur zugeführt wird.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das abgekühlte Argonprodukt (w) dem Unterkühlungsgegenströmer (18) am kalten Ende entnommen wird.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das abzukühlende flüssige Argonprodukt (v) in dem Unterkühlungsgegenströmer (18) durch einen Kreuzgang geleitet wird, der insbesondere unmittelbar am kalten Ende angeordnet ist.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Temperatur des flüssigen Argonprodukts (w) am Austritt aus dem Unterkühlungsgegenströmer (18) niedriger als die Austrittstemperatur des flüssigen Stroms (e) aus der Hochdruckkolonne ist, insbesondere niedriger als die Austrittstemperaturen aller anderen flüssigen Ströme (e, n1), die im Unterkühlungsgegenströmer (18) abgekühlt werden..

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Temperatur des flüssigen Argonprodukts (w) am Austritt aus dem Unterkühlungsgegenströmer (18) nicht geregelt wird.

11. Luftzerlegungsanlage (100-300) mit einem Hauptwärmetauscher (4) und einen Unterkühlungsgegenströmer (18) sowie einem Rektifikationskolonnensystem (10), das eine Hochdruckkolonne (11), eine zweite Niederdruckkolonne (12) und ein Argonsystem (400) aufweist, und die dafür eingerichtet ist,

- die Hochdruckkolonne (11) unter einem ersten Druck betrieben wird,

EP 4 488 605 A1

- die Niederdruckkolonne (11) unter einem zweiten Druck betrieben wird, der niedriger als der erste Druck ist,
- das Argonsystem (400) eine Rohargonkolonne (13a, 13b) aufweist, die unter einem dritten Druck betrieben wird, der höher als 1,8 bar ist,
- gasförmige oder teilverflüssigte Druckluft in dem Hauptwärmetauscher (4) abgekühlt und in die Hochdruckkolonne (11) eingeleitet wird,
- Sumpfflüssigkeit (e) aus der ersten Rektifikationskolonne (11) entnommen und direkt oder indirekt in die Niederdruckkolonne (12) eingeleitet wird,
- in dem Unterkühlungsgegenströmer (18)
- mindestens ein flüssiger Strom (e, n1) aus der Hochdruckkolonne in dem Unterkühlungsgegenströmer (18) gekühlt wird,
- mindestens ein gasförmiger Strom (n2) aus der Niederdruckkolonne in dem Unterkühlungsgegenströmer (18) angewärmt wird,
- ein argonangereichertes Fluid (o) aus der Niederdruckkolonne (12) entnommen und in das Argonsystem (400) eingeleitet wird,
- ein flüssiges Argonprodukt (v) aus dem Argonsystem (400) entnommen und als Endprodukt gewonnen wird, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- die Luftzerlegungsanlage (100) dafür eingerichtet ist, das flüssige Argonprodukt (v) vor seiner Abgabe als Endprodukt in den Unterkühlungsgegenströmer (18) einzuleiten und dort abzukühlen.

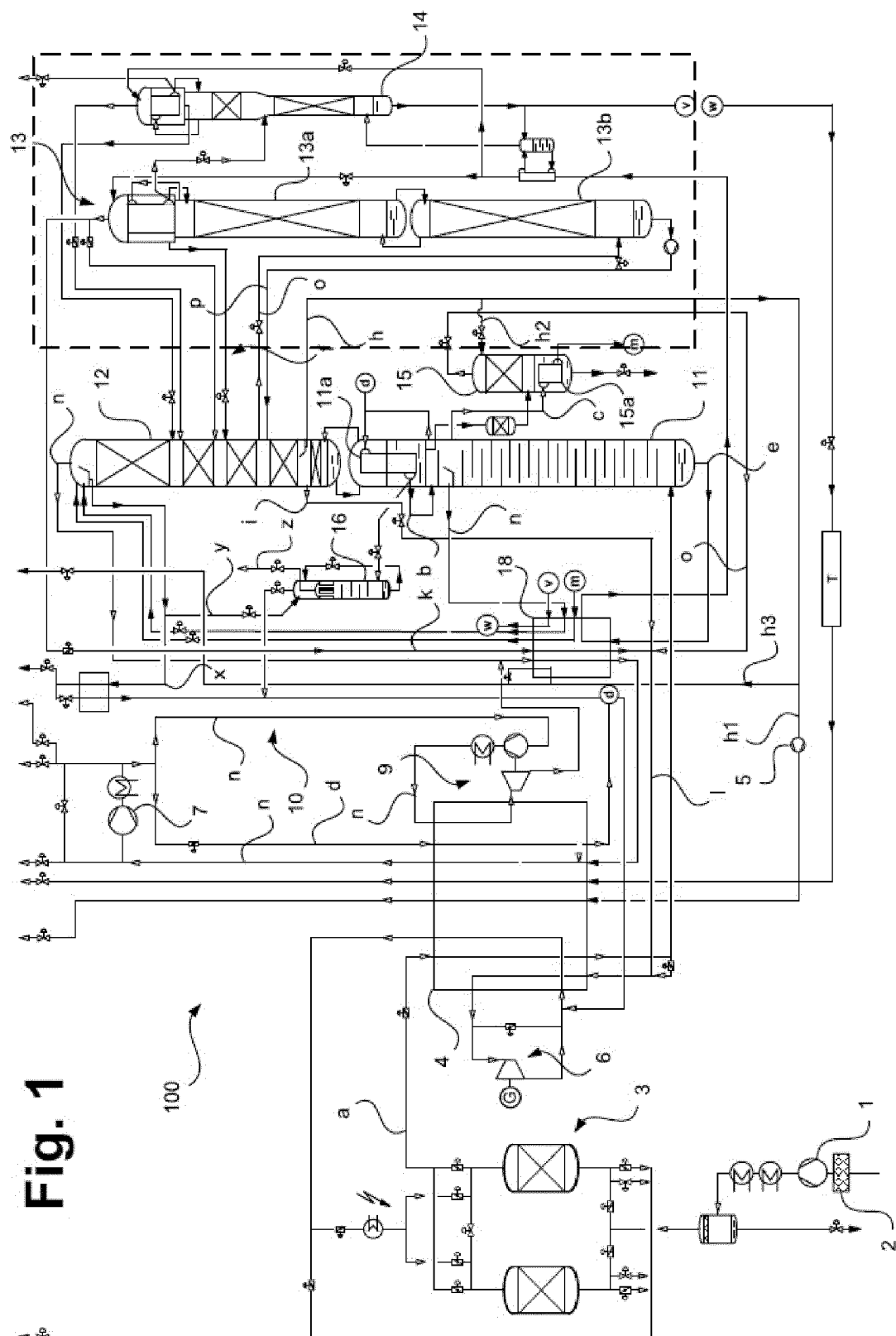


Fig. 1

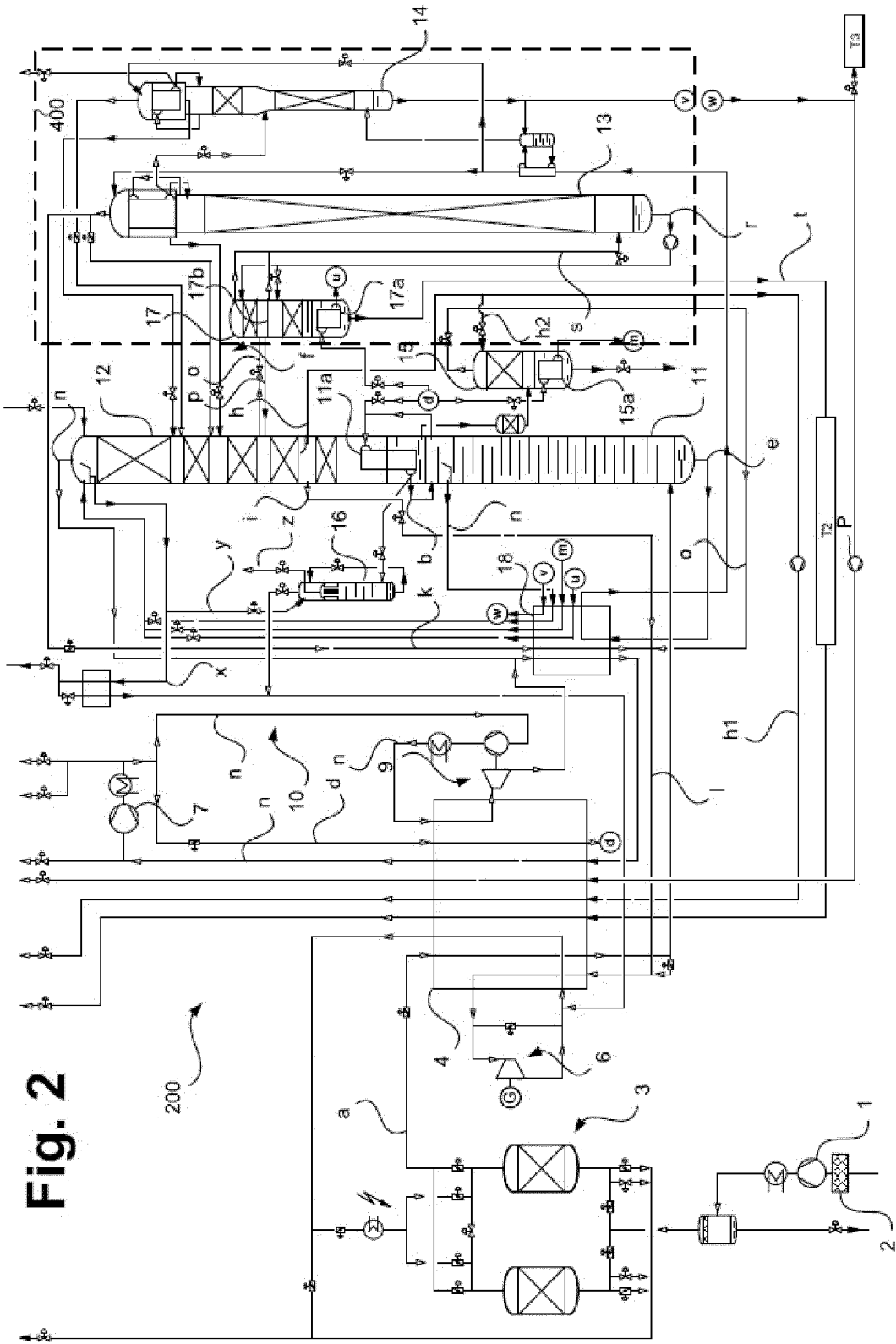


Fig. 2

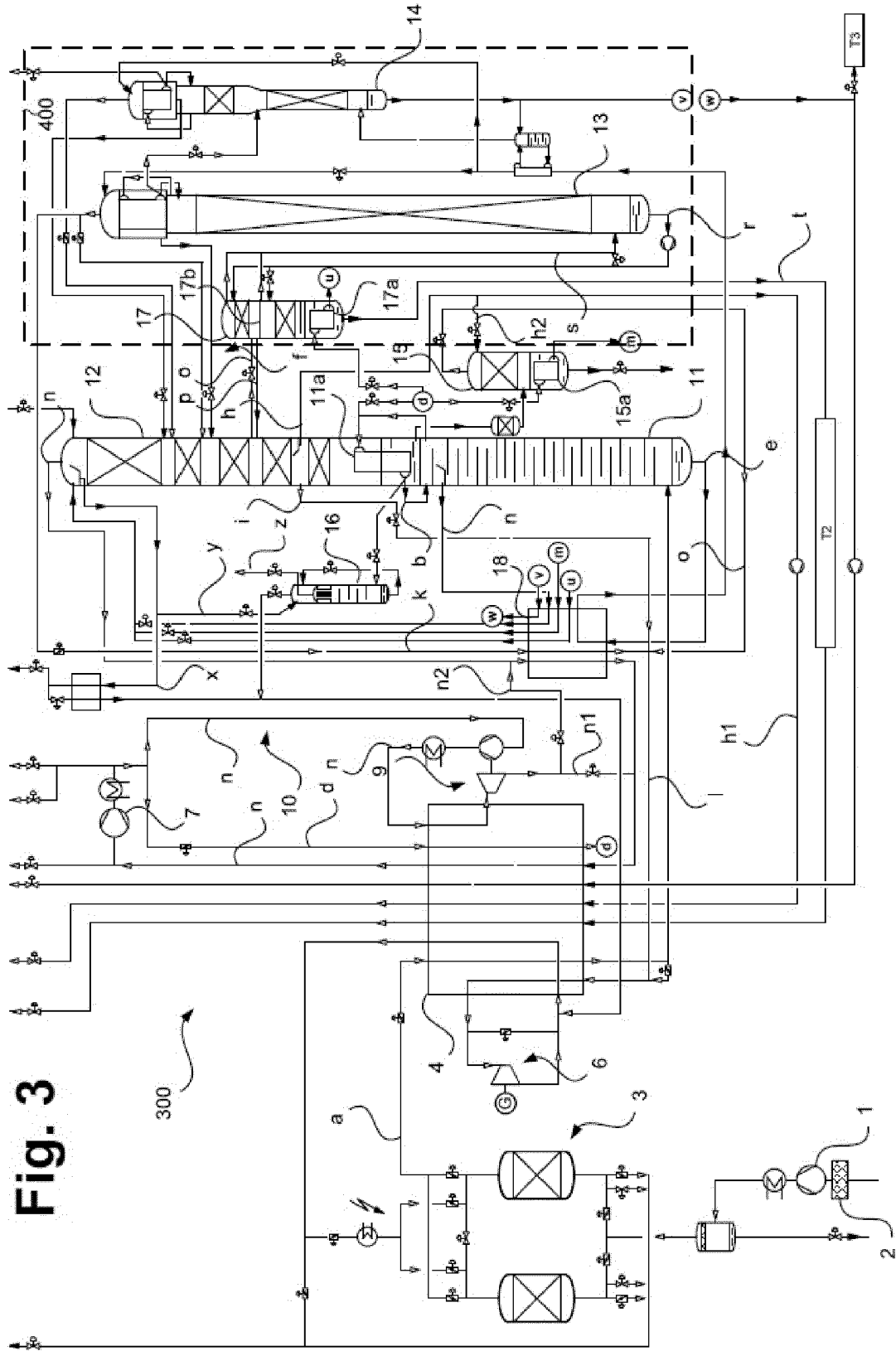


Fig. 3

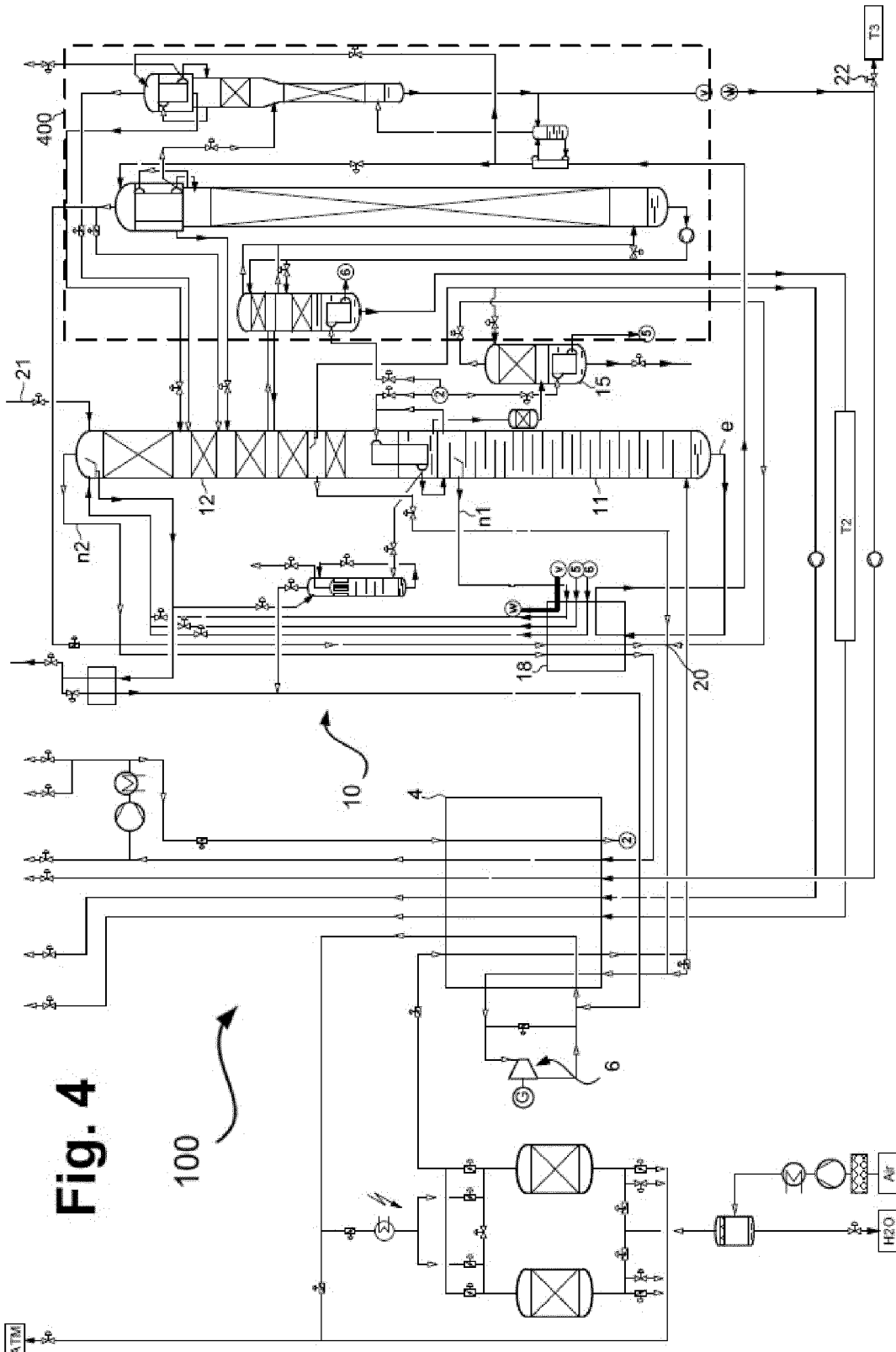


Fig. 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 02 0327

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	US 2020/149806 A1 (PROSSER NEIL M [US] ET AL) 14. Mai 2020 (2020-05-14) * Abbildung 1 *	1-11	INV. F25J3/04
Y	----- CN 102 141 337 B (SUZHOU XINGLU AIR SEPARATION PLANT SCIENCE & TECHNOLOGY DEV CO LTD) 1. Mai 2013 (2013-05-01) * Abbildung 1 *	1-11	
Y	----- US 2021/080171 A1 (HIROSE KENJI [JP]) 18. März 2021 (2021-03-18) * Absatz [0053] - Absatz [0055]; Abbildung 2 *	5	

			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F25J
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 6. Dezember 2023	Prüfer Schopfer, Georg
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

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

EP 23 02 0327

06-12-2023

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.

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2020149806 A1	14-05-2020	BR 112020021240 A2	02-02-2021
		CA 3097145 A1	31-10-2019
		CN 112005067 A	27-11-2020
		EP 3784963 A1	03-03-2021
		KR 20200133800 A	30-11-2020
		US 2019331416 A1	31-10-2019
		US 2020149806 A1	14-05-2020
		WO 2019209666 A1	31-10-2019
<hr/>			
CN 102141337 B	01-05-2013	KEINE	
<hr/>			
US 2021080171 A1	18-03-2021	CN 112524886 A	19-03-2021
		JP 2021046961 A	25-03-2021
		KR 20210033431 A	26-03-2021
		SG 10202009144R A	29-04-2021
		TW 202117248 A	01-05-2021
		US 2021080171 A1	18-03-2021
<hr/>			

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

- WO 2021204424 A2 [0005]
- US 10209004 B2 [0038]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **H.-W. HÄRING**. Industrial Gases Processing. Wiley-VCH, 2006 [0002]