



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
17.11.2021 Patentblatt 2021/46

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

(21) Anmeldenummer: **20020218.2**

(22) Anmeldetag: **13.05.2020**

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

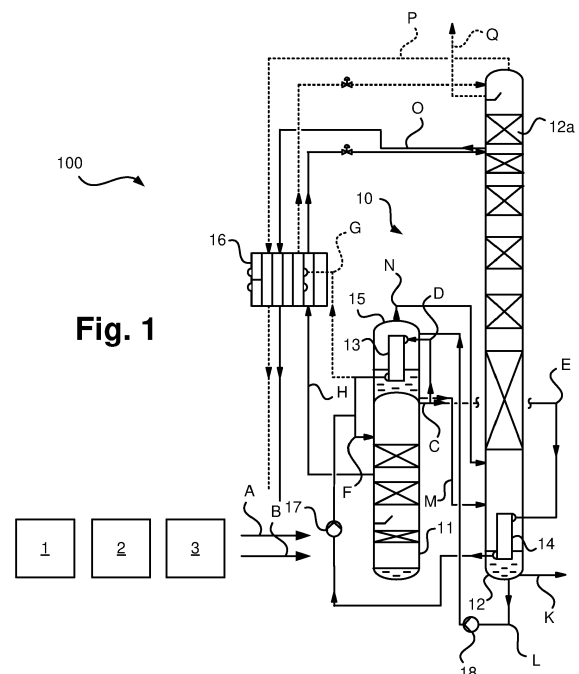
(71) Anmelder: **Linde GmbH**
82049 Pullach (DE)

(72) Erfinder:
• **Hecht, Thomas**
82178 Puchheim (DE)
• **Heinz, Paul**
80634 München (DE)
• **Wiesner, Natascha**
85221 Dachau (DE)

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

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

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft, bei dem eine Luftzerlegungsanlage (100-300) mit einem Rektifikationskolonnensystem (10) verwendet wird, das eine Hochdruckkolonne (11) und Niederdruckkolonne (12) aufweist, wobei die Hochdruckkolonne (11) neben der Niederdruckkolonne (12) angeordnet ist. Gas aus der Hochdruckkolonne (11) wird unter Verwendung eines ersten Kondensatorverdampfers (13), der in einem Kompartiment (15) am Kopf der Hochdruckkolonne (11) angeordnet ist, sowie unter Verwendung eines zweiten Kondensatorverdampfers (14), der im Sumpfbereich der Niederdruckkolonne (12) angeordnet ist, jeweils gegen Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne (12) kondensiert. Es ist vorgesehen, dass zumindest der erste Kondensatorverdampfer (13) als Kaskadenverdampfer ausgebildet ist, dem ersten Kondensatorverdampfer (13) die Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne (12) in eine Menge zugeführt wird, die eine in dem ersten Kondensatorverdampfer (13) verdampfte Menge übersteigt. Eine entsprechende Anlage (100-300) ist ebenfalls Gegenstand der Erfindung.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende 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.

[0003] Luftzerlegungsanlagen klassischer Art weisen Rektifikationskolonnensysteme auf, die beispielsweise als Zweikolonnensysteme, insbesondere als Doppelkolonnensysteme, aber auch als Drei- oder Mehrkolonnensysteme ausgebildet sein können. Neben Rektifikationskolonnen zur Gewinnung von Stickstoff und/oder Sauerstoff in flüssigem und/oder gasförmigem Zustand, also Rektifikationskolonnen zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung, können Rektifikationskolonnen zur Gewinnung weiterer Luftkomponenten, insbesondere von Edelgasen, vorgesehen sein.

[0004] 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 (obere Kolonne) auf. Die Hochdruckkolonne wird typischerweise auf einem Druckniveau von 4 bis 7 bar betrieben. Dieses Druckniveau wird nachfolgend als "erstes Druckniveau" bezeichnet. Die Niederdruckkolonne dagegen auf einem Druckniveau von typischerweise 1 bis 2 bar betrieben. Dieses Druckniveau wird nachfolgend als "zweites Druckniveau" bezeichnet. In bestimmten Fällen können in den Rektifikationskolonnen auch höhere Druckniveaus eingesetzt werden. Spezifische Druckniveaus sind weiter unten angegeben. Bei den hier angegebenen Druckniveaus handelt es sich um Absolutdrücke am Kopf der jeweils genannten Kolonnen.

[0005] In einer Luftzerlegungsanlage, die ein Rektifikationskolonnensystem mit einer Hochdruckkolonne und einer Niederdruckkolonne aufweist, wird in der Hochdruckkolonne Luft unter Erhalt einer gegenüber der Luft an Sauerstoff angereicherten Sumpfflüssigkeit und unter Erhalt eines stickstoffreichen Kopfgases auf dem ersten Druckniveau rektifiziert.

[0006] Zumindest ein Teil der Sumpfflüssigkeit der Hochdruckkolonne wird, optional nach weiterer Verwendung, beispielsweise als Kühlmittel in Kopfkondensatoren von zur Gewinnung von Argon eingerichteten Rektifikationskolonnen, in die Niederdruckkolonne eingespeist, in welcher eine sauerstoffreiche Sumpfflüssigkeit und ein Kopfgas gebildet werden. Zumindest ein Teil des

Kopfgases der Hochdruckkolonne wird gegen die dabei zum Teil verdampfende Sumpfflüssigkeit der Niederdruckkolonne in einem auf diese Weise die Hochdruckkolonne und die Niederdruckkolonne wärmetauschend verbindenden Kondensatorverdampfer, dem sogenannten Hauptkondensator, kondensiert und zumindest zu einem Teil als Rücklauf auf die Hochdruckkolonne zurückgeführt.

[0007] Der Hauptkondensator einer Luftzerlegungsanlage kann in Form eines sogenannten Kaskadenverdampfers ausgebildet sein, wie er unten weiter erläutert wird, und der aus bestimmten Gründen betriebliche Vorteile bietet. Die vorliegende Erfindung stellt sich die Aufgabe, die Luftzerlegung unter Verwendung von Luftzerlegungsanlagen mit Kaskadenverdampfern zu verbessern.

Offenbarung der Erfindung

[0008] 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.

[0009] Nachfolgend werden zunächst einige bei der Beschreibung der vorliegenden Erfindung und ihrer Vorteile verwendete Begriffe sowie der zugrunde liegende technische Hintergrund näher erläutert.

[0010] Die in einer Luftzerlegungsanlage eingesetzten Vorrichtungen sind in der zitierten Fachliteratur, beispielsweise bei Häring 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.

[0011] Als "Kondensatorverdampfer" wird ein Wärmetauscher bezeichnet, in dem ein erster, kondensierender Fluidstrom in indirekten Wärmeaustausch mit einem zweiten, verdampfenden Fluidstrom tritt. Für einen intensiven Wärmeaustausch ist eine Vielzahl von Passagen bereitgestellt, die wechselseitig und gruppenweise in Wärmeaustauschbeziehung stehen, und die als Verflüssigungspassagen mit dem kondensierenden Fluidstrom bzw. als Verdampfungspassagen mit dem verdampfenden Fluidstrom beaufschlagt werden. Zu den in Luftzerlegungsanlagen typischerweise eingesetzten Kondensatorverdampfern sei insbesondere auf die Unterabschnitte "Heat Exchangers and Condensers" auf Seite 49 ff. und "Combined Evaporator/Condenser - Heat Transfer Units" auf Seite 52 ff. bei Häring verwiesen. Es handelt sich typischerweise um gelötete Rippen-Platten-Wärmetauscher aus Aluminium (engl. Brazed Aluminium Plate-Fin Heat Exchangers, PFHE; Bezeichnungen gemäß der deutschen und englischen Ausgabe der ISO 15547-2:3005). Anstelle des Begriffs "Kondensatorver-

dampfer" wird häufig vereinfachend auch der Begriff "Kondensator" oder "Verdampfer" verwendet, je nachdem, ob vornehmlich das kondensierende oder verdampfende Fluid betrachtet wird.

[0012] Nachfolgend werden Badverdampfer und deren Varianten näher erläutert; zu den ebenfalls in Luftzerlegungsanlagen einsetzbaren Fallfilmverdampfern und deren Funktion sei auf die zitierte Fachliteratur verwiesen.

[0013] Bei Badverdampfern bzw. Badkondensatoren handelt es sich um Apparate, die auf Grundlage des Thermosiphoneffekts arbeiten. Ein Badverdampfer weist einen Wärmetauscherblock mit nach unten offenen Verdampfungspassagen auf, die in ein Flüssigkeitsbad, im Fall einer Luftzerlegungsanlage der oben erläuterten Art in die Sumpfflüssigkeit der Niederdruckkolonne, eintauchen. Die Verflüssigungspassagen werden mit dem zu kondensierenden Fluid beaufschlagt, im Fall einer Luftzerlegungsanlage der oben erläuterten Art mit Kopfgas der Hochdruckkolonne. Bei der Verdampfung in den Verdampfungspassagen bildet sich ein Zweiphasengemisch, das aufgrund seiner geringeren Dichte in den Verdampfungspassagen aufsteigt. Nach dem Austritt aus den Verdampfungspassagen an der Oberseite des Badverdampfers strömt der flüssige Anteil des Zweiphasengemischs in das Flüssigkeitsbad zurück, während der verdampfte Anteil gasförmig weiter aufsteigt.

[0014] Je größer die Eintauchtiefe des Wärmetauscherblocks in dem Flüssigkeitsbad ist, desto höher wird der mittlere hydrostatische Druck in den Verdampfungspassagen und desto schlechter verdampft die Flüssigkeit, da die Siedetemperatur der Flüssigkeit entsprechend der Dampfdruckkurve ansteigt. Als Hauptkondensator in einem Rektifikationskolonnensystem einer Luftzerlegungsanlage können daher auch zwei oder mehrere, nebeneinander angeordnete Badverdampfer eingesetzt werden, die dann verdampfungs- und verflüssigungsseitig parallel geschaltet sind.

[0015] Der Wirkungsgrad eines Badverdampfers kann aber auch durch Unterteilung des Wärmetauscherblocks in mehrere, übereinander angeordnete Abschnitte erhöht werden. Der Vorteil einer derartigen Anordnung liegt darin, dass die Eintauchtiefe bei jedem der Abschnitte jeweils kleiner ist als bei einem einzigen hohen Wärmetauscherblock. Auf diese Weise wird der hydrostatische Druck in den Verdampfungspassagen verringert und die Flüssigkeit kann leichter verdampfen. Weil in jedem der Abschnitte die nicht verdampfte Flüssigkeit von oben nach unten in das Flüssigkeitsbad abfließt und von dort aus wieder angesaugt wird, werden die Abschnitte auch als Umlaufabschnitte bezeichnet.

[0016] Aus der DE 199 39 294 ist ein mehrstöckiger Badkondensator bekannt, bei dem zwei Wärmetauscherblöcke parallel zueinander angeordnet sind und bei dem sich zwischen den Wärmetauscherblöcke für jedes Stockwerk Flüssigkeitsvorratsbehälter für die zu verdampfende Flüssigkeit befinden. Die Verdampfungspassagen sind in vertikaler Richtung in mehrere Stock-

werke unterteilt, die jeweils einen eigenen Umlaufabschnitt der erläuterten Art bilden. Die Eintauchtiefe wird so relativ klein gehalten.

[0017] Bei einem sogenannten Kaskadenverdampfer ("Kasko") sind die Stockwerke auf der Verdampfungsseite seriell miteinander verbunden, d.h. nicht verdampfte Flüssigkeit aus einem oberen Stockwerk fließt aus den oberen Stockwerken nicht direkt ins unterste Flüssigkeitsbad, sondern kaskadenförmig weiter zum darunterliegenden Stockwerk, das ein separates Flüssigkeitsbad aufweist. Bei einem beispielsweise in der EP 1 287 302 A1 offenbarten Kaskadenverdampfer sind dabei mindestens zwei übereinander angeordnete Umlaufabschnitte vorgesehen, die jeweils aus einem eigenen Flüssigkeitsbad bzw. Flüssigkeitsvorratsbehälter mit Flüssigkeit gespeist werden. Durch die vertikale Unterteilung kann der Flüssigkeitsstand in den Flüssigkeitsvorratsbehältern der jeweiligen Umlaufabschnitte gegenüber dem Flüssigkeitsstand bei einem einzigen, durchgehenden Kondensatorblock deutlich reduziert werden. Die Flüssigkeit tritt über am unteren Ende eines Umlaufabschnittes befindliche Eintrittsöffnungen in die Verdampfungspassagen ein, strömt nach oben, verdampft teilweise und verlässt die Verdampfungspassagen am oberen Ende des Umlaufabschnittes über geeignete Austrittsöffnungen. Der Flüssiganteil in dem aus den Passagen austretenden Zweiphasengemisch strömt zum einen zurück zu den Eintrittsöffnungen dieses Umlaufabschnittes und zum anderen, abhängig vom Flüssigkeitsstand im Flüssigkeitsvorratsbehälter des Umlaufabschnittes, zu den Eintrittsöffnungen des darunterliegenden Umlaufabschnittes, um dort wiederum über die Verdampfungspassagen umgeworfen zu werden.

[0018] Bei einem Kaskadenverdampfer können mindestens zwei der Umlaufabschnitte durch einen Wärmetauscherabschnitt eines gemeinsamen Wärmetauscherblocks gebildet sein. Mindestens einer der Umlaufabschnitte kann jedoch auch durch einen separaten Wärmetauscherblock gebildet sein. Auf der Verflüssigungsseite können Kaskadenverdampfer vorzugsweise ebenfalls seriell geschaltet sein, beispielsweise mittels Verflüssigungspassagen eines gemeinsamen Wärmetauscherblocks, die sich über sämtliche Stockwerke erstrecken. Alternativ dazu können auch bei einem Kaskadenverdampfer die Stockwerke verflüssigungsseitig parallel geschaltet sein.

[0019] Dem Rektifikationskolonnensystem einer Luftzerlegungsanlage der beschriebenen Art wird verdichtete und abgekühlte Einsatzluft zugeführt, die auf unterschiedliche Weise und in Form eines oder mehrerer Teilströme gleichen oder unterschiedlichen Aggregatzustands und auf unterschiedlichen Druckniveaus bereitgestellt werden kann. Die Bereitstellung der Einsatzluft kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung auf unterschiedliche Weise bereitgestellt werden und die vorliegende Erfindung ist nicht auf eine spezifische Ausgestaltung beschränkt.

[0020] Flüssigkeiten und Gase können im hier verwen-

deten Sprachgebrauch reich oder arm an einer oder an mehreren Komponenten sein, wobei "reich" für einen Gehalt von wenigstens 50%, 75%, 90%, 95%, 99%, 99,5%, 99,9% oder 99,99% und "arm" für einen Gehalt von höchstens 50%, 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 jeweils betrachtete Flüssigkeit oder das jeweils betrachtete Gas gewonnen wurde. Die Flüssigkeit oder das Gas ist "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.

[0021] Die vorliegende Offenbarung 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 1%, 5%, 10%, 20% oder sogar 50% um einen Mittelwert herum 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. Wie erwähnt, handelt es sich bei Druckangaben hier um Absolutdrücke und in dem Fall, dass diese sich auf Druckniveaus in Rektifikationskolonnen beziehen, jeweils um Druckniveaus, die am Kopf dieser Rektifikationskolonnen vorliegen.

[0022] Generell wird hier unter einer "Rektifikationskolonne" ein trenntechnischer Apparat verstanden, in dem ein von unten nach oben aufsteigendes Gas einer von oben nach unten herabrieselnden Flüssigkeit entgegen geschickt wird. Gas und Flüssigkeit, die jeweils unter Verwendung eines oder mehrerer unterschiedlicher Stoffströme gebildet werden können, werden dabei, unterstützt durch oberflächenvergrößernde Strukturen oder bekannte Trennböden, einem Stoffaustausch unterworfen. In einem unteren Bereich einer Rektifikationskolonne ("Sumpf") sammelt sich dabei die aufgrund des Stoffaustauschs in ihrer Zusammensetzung veränderte Flüssigkeit ("Sumpfflüssigkeit"), in einem oberen Bereich ("Kopf") dagegen das aufsteigende Gas ("Kopfgas") in entsprechend veränderter Zusammensetzung. In einer Rektifikationskolonne im hier zugrunde gelegten Ver-

ständnis wird im Gegensatz zu einer reinen Absorptionskolonne entweder eine Kondensation zumindest eines Teils des Kopfgases, das danach in kondensierter Form zumindest zum Teil in die betrachtete Rektifikationskolonne zurückgeführt wird, und/oder eine Verdampfung zumindest eines Teils der Sumpfflüssigkeit, die danach ebenfalls zumindest zum Teil in verdampfter Form in die Rektifikationskolonne zurückgeführt wird, vorgenommen.

[0023] 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 sich das obere Ende der unteren der beiden Komponenten auf niedrigerer oder gleicher geodätischer Höhe befindet wie das untere Ende der oberen der beiden Komponenten und sich die Projektionen der beiden Komponenten in einer horizontalen Ebene überschneiden, aber nicht in einer vertikalen Ebene. 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. Entsprechend wird unter einer Anordnung zweier Komponenten "nebeneinander" hier verstanden, dass sich die Projektionen der beiden betrachteten Komponenten in einer vertikalen Ebene überschneiden, wobei aber die unteren oder oberen Enden nicht genau in einer horizontalen Ebene liegen müssen.

40 Vorteile der Erfindung

[0024] Die vorliegende Erfindung wird in einer Luftzerlegungsanlage eingesetzt, die eine Hochdruckkolonne und eine Niederdruckkolonne aufweist. Die Hochdruckkolonne wird auf dem erwähnten ersten Druckniveau, das insbesondere auch bei 5 bis 6 bar, beispielsweise ca. 5,3 bar, liegen kann, betrieben. Die Niederdruckkolonne wird auf dem erwähnten zweiten Druckniveau, das insbesondere auch bei ca. 1,1 bis 1,5 bar, beispielsweise ca. 1,2 bar liegen kann, betrieben. Im Rahmen der Erfindung ist die Niederdruckkolonne im oben erläuterten Sinn neben der Hochdruckkolonne angeordnet. Es handelt sich bei dem im Rahmen der vorliegenden Erfindung eingesetzten Rektifikationskolonnensystem also nicht um ein klassisches Doppelkolonnensystem, bei dem Hoch- und Niederdruckkolonne übereinander angeordnet sind und miteinander eine Doppelkolonne bilden. Durch die Anordnung von Hoch- und Niederdruckkolon-

ne nebeneinander können die Gesamthöhe der Luftzerlegungsanlage reduziert und Transport und Erstellung vereinfacht werden. Beispielsweise verbessert sich hierbei die Montage auf einer Baustelle, wo z.B. eine zu hohe Gesamthöhe aufgrund der ggf. Nichtverfügbarkeit von Kränen für die Aufstellung der Rektifikationskolonnen kritisch sein kann.

[0025] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wurde festgestellt, dass die Funktion des Hauptkondensators einer Luftzerlegungsanlage in einem derartigen Szenario mit besonderem Vorteil durch die Kombination eines Kaskadenverdampfers mit einem weiteren Kondensatorverdampfer, der ebenfalls in Form eines Kaskadenverdampfers oder in Form eines anderen Kondensatorverdampfertyps wie beispielsweise in Form eines einstufigen Badverdampfers ausgebildet sein kann, übernommen werden kann. Im ersten Fall wird also gewissermaßen ein zweigeteilter Kaskadenverdampfer bereitgestellt, im zweiten Fall wird ein Kaskadenverdampfer mit einem zusätzlichen Kondensatorverdampfer, der nicht als Kaskadenverdampfer ausgebildet ist, bereitgestellt. Der Kaskadenverdampfer ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung in einem Kompartiment am Kopf der Hochdruckkolonne angeordnet. Dieses Kompartiment kann insbesondere in einer gemeinsamen Außenhülle mit den Trenneinrichtungen der Hochdruckkolonne angeordnet bzw. fest mit der Hochdruckkolonne verbunden sein. Auch eine Bereitstellung von zwei unterschiedlichen Außenhüllen, die über einen Randbereich miteinander verbunden, beispielsweise verschweißt sind, oder bei denen beispielsweise die Außenhülle des Kompartiments an eine Außenhülle der Hochdruckkolonne angefügt ist, ist grundsätzlich möglich. Eine "feste" Verbindung soll damit also eine Verbindung bezeichnen, die über Strukturen erfolgt, welche über reine Leitungen hinausgehende Verbindungsstrukturen darstellen.

[0026] Die Funktion des Hauptkondensators kann bekanntermaßen auch auf zwei bauliche Einheiten in unterschiedlichen Kompartimenten verteilt werden. So wird beispielsweise bereits in der DE 827 364 B vorgeschlagen, am Kopf der Hochdruckkolonne einen ersten Kondensatorverdampfer und im Sumpf der Niederdruckkolonne, die hier neben der Hochdruckkolonne angeordnet ist, einen zweiten Kondensatorverdampfer bereitzustellen. Beide Kondensatorverdampfer sind hier als Badverdampfer ausgebildet. In dem ersten und dem zweiten Kondensatorverdampfer wird jeweils ein Teil des Kopf-gases der Hochdruckkolonne kondensiert und ein Teil der Sumpfflüssigkeit der Niederdruckkolonne verdampft. Vergleichbares wird auch in der DE 24 02 246 A1 zur Gewinnung von Sauerstoff mittlerer Reinheit vorgeschlagen.

[0027] Die Zweiteilung eines Kaskadenverdampfers bzw. die Bereitstellung eines weiteren Kondensatorverdampfers in der angesprochenen Weise ist gegenüber der Zweiteilung eines Badverdampfers bzw. die Bereitstellung separater Badverdampfer technisch nicht ohne weiteres realisierbar. So weichen die fluiddynamischen

Gegebenheiten bei Kaskadenverdampfern fundamental von jenen bei reinen Badverdampfern ab. Bei einem einstufigen Badverdampfer fließt ein deutlich größerer Teil an in den Verdampfungspassagen unverdampfter Flüssigkeit in das Flüssigkeitsbad, in das der Badverdampfer eingetaucht ist, ab. Da dies bei einem einstufigen Badverdampfer nur einmalig bzw. auf einer Stufe erfolgt, ist der Verlust an Flüssigkeit hier relativ gering, d.h. ein vergleichsweise geringer Anteil der Flüssigkeit wird durch das sogenannte Entrainment in die Gasphase mitgerissen. Auf diese Weise kann ein Badverdampfer in relativ einfacher Weise aufgeteilt werden, da die Mengen an Flüssigkeit in jedem der gebildeten Teile einfach eingestellt werden kann.

[0028] Bei einem Kaskadenverdampfer ergibt sich dagegen in jeder Stufe ein Verlust an Flüssigkeit in dieser Weise. Die für einen Kaskadenverdampfer insgesamt erforderliche Flüssigkeitsmenge bestimmt sich dabei nach der in der zweituntersten Stufe des Kaskadenverdampfers benötigten Flüssigkeitsmenge, da die von oben nach unten herabfließende Flüssigkeit in jeder der darüber liegenden Stufen verdampft und zu einem Teil auch dem Entrainment unterworfen wird. Das unterste Flüssigkeitsbad ist demgegenüber weniger kritisch, weil sich hier weitere Flüssigkeit sammelt, darunter auch ein Teil der zuvor mitgerissenen Flüssigkeitstropfen. Mit anderen Worten muss beim Betrieb eines Kaskadenverdampfers regelungstechnisch stets die gesamte Kette der Flüssigkeitsbäder im Auge behalten werden, um eine Mindermenge an Flüssigkeit in einem der Flüssigkeitsbäder (insbesondere im zweituntersten) zu vermeiden. Eine reine Unterteilung eines Kaskadenverdampfers in zwei Teile ist daher offensichtlich mit einem deutlich erhöhten Kontroll- und Regelungsaufwand verbunden, da dies diesen regelungstechnischen Aufwand verdoppelt.

[0029] Gleichwohl ist eine Zweiteilung eines Kaskadenverdampfers jedoch vorteilhaft und wünschenswert, da auf diese Weise eine Bauhöhe der Anlage reduziert werden kann bzw. sich die an sich vorteilhaften Funktionen eines Kondensatorverdampfers, wie sie oben erläutert wurden, auch in größeren Anlagen, in denen für Kaskadenverdampfer die Baubarkeitsgrenzen erreicht werden, nutzen lassen. Die Zweiteilung hat auch den Vorteil, dass das beschriebene Problem des Entrainments, wie erfindungsgemäß erkannt wurde, hier weniger kritisch ist, da sich die Flüssigkeitsmenge, die über den Kaskadenverdampfer gefahren wird, relativ betrachtet erhöht.

[0030] Die vorliegende Erfindung löst dieses Problem dadurch, dass dem ersten Kondensatorverdampfer die Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne in einer Menge zugeführt wird, die eine in dem ersten Kondensatorverdampfer hiervon verdampfte Menge übersteigt. Die in dem ersten Kondensatorverdampfer nicht verdampfte Menge der Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne kann zumindest zu einem Teil in die Niederdruckkolonne zurückgeführt und/oder beispielsweise zur Bereitstellung eines Sauerstoffprodukts aus der Luft-

zerlegungsanlage ausgeleitet werden. Mit anderen Worten wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung dem ersten Kondensatorverdampfer, der als Kaskadenverdampfer ausgebildet ist, die zu verdampfende Flüssigkeit in einer Überschussmenge zugeführt, die den Flüssigkeitsbedarf in dem ersten Kondensatorverdampfer übersteigt. Auf diese Weise wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung der regelungstechnische Aufwand zum Betrieb des ersten, als Kaskadenverdampfer ausgebildeten Kondensatorverdampfers deutlich vereinfacht, wobei die grundsätzlichen Vorteile der Verwendung eines Kaskadenverdampfers genutzt und durch die Aufteilung der Hauptkondensatorfunktion insbesondere Bauhöhe und Transportfähigkeit verbessert werden.

[0031] Mit anderen Worten schlägt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft vor, bei dem eine Luftzerlegungsanlage mit einem Rektifikationskolonnensystem verwendet wird, das eine Hochdruckkolonne und eine Niederdruckkolonne aufweist, wobei die Hochdruckkolonne neben der Niederdruckkolonne angeordnet ist und wobei Gas aus der Hochdruckkolonne unter Verwendung eines ersten Kondensatorverdampfers, der in einem Kompartiment am Kopf der Hochdruckkolonne angeordnet ist, und eines zweiten Kondensatorverdampfers, der im Sumpfbereich der Niederdruckkolonne angeordnet ist, jeweils gegen Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne kondensiert wird.

[0032] Erfindungsgemäß ist zumindest der erste Kondensatorverdampfer als Kaskadenverdampfer ausgebildet, dem ersten Kondensatorverdampfer wird die Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne in einer Menge zugeführt wird, die eine in dem ersten Kondensatorverdampfer hiervon verdampfte Menge übersteigt. In dem ersten Kondensatorverdampfer nicht verdampfte Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne kann, wie erwähnt, zumindest zu einem Teil in die Niederdruckkolonne zurückgeführt und/oder beispielsweise zur Bereitstellung eines Sauerstoffprodukts aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet werden. Es versteht sich, dass dann, wenn hier davon die Rede ist, dass "nicht verdampfte Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne zumindest zu einem Teil in die Niederdruckkolonne zurückgeführt" bzw. "aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet" wird, hiervon jeweils die gesamte, nicht verdampfte Sumpfflüssigkeit oder nur ein Teil hiervon betroffen sein kann und dass ggf. auch weitere Flüssigkeit zusammen mit dieser Sumpfflüssigkeit in die Niederdruckkolonne eingespeist wird.

[0033] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann die nicht verdampfte Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne, die in einer entsprechenden Ausgestaltung in die Niederdruckkolonne zurückgeführt wird, oberhalb oder unterhalb eines oberen Endes des zweiten Kondensatorverdampfers und oberhalb eines Flüssigkeitsspiegels der Sumpfflüssigkeit in der Niederdruckkolonne in den Sumpfbereich der Niederdruckkolonne eingespeist werden. Die genaue Art der Einspeisung richtet

sich dabei insbesondere auch nach der Art des verwendeten zweiten Kondensatorverdampfers und dem Verhältnis der im ersten und zweiten Kondensatorverdampfer zu verdampfenden Flüssigkeitsmengen. Durch die Einspeisung oberhalb des oberen Endes des zweiten Kondensatorverdampfers kann insbesondere eine größere Flüssigkeitsmenge im Kreis über den Kaskadenverdampfer gefahren werden, so dass weniger Probleme mit dem erwähnten Entrainment auftreten. Es ergibt sich jedoch ein höherer Fertigungsaufwand. Umgekehrt reduziert sich durch die Einspeisung unterhalb des oberen Endes des zweiten Kondensatorverdampfers ein entsprechend geringerer Fertigungsaufwand.

[0034] Dieser zweite Kondensatorverdampfer kann, wie ebenfalls erwähnt, in Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung als (weiterer) Kaskadenverdampfer, als einstufiger Badverdampfer oder als Fallfilmverdampfer ausgebildet sein. In allen Fällen können die jeweiligen Vorteile der entsprechenden Verdampfertypen genutzt werden. Für Badverdampfer bestehen diese insbesondere darin, dass man keine Vorrichtung zum Sammeln der Flüssigkeit und Zuführen direkt zum Verdampfer benötigt, ein Kaskadenverdampfer weist dagegen Vorteile aufgrund der geringeren Eintauchtiefe auf, wie oben beschrieben.

[0035] Der erste und der zweite Kondensatorverdampfer können im Rahmen der vorliegenden Erfindung seriell oder parallel mit dem zu verflüssigenden Gas aus der Hochdruckkolonne und/oder mit der Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne beaufschlagt werden. Eine parallele Beaufschlagung kann besonders vorteilhaft sein, weil hierdurch Druckverluste und damit der Energieverbrauch minimiert werden können. Eine serielle Beaufschlagung kann vorteilhaft sein, weil auf diese Weise eine Anreicherung von Helium und/oder Neon genutzt werden kann.

[0036] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann die in dem ersten Kondensatorverdampfer nicht verdampfte Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne und ferner in dem ersten Kondensatorverdampfer verdampftes Gas in Form eines oder mehrerer Stoffströme in die Niederdruckkolonne zurückgeführt werden. Beispielsweise können die nicht verdampfte Sumpfflüssigkeit und das verdampfte Gas in Form eines Zweiphasenstroms zurückgeführt werden, es kann jedoch auch vorgesehen sein, hierfür separate Leitungen zu verwenden.

[0037] Anstelle der Überführung von verdampftem Gas in die Niederdruckkolonne kann auch eine umgekehrte Gasführung erfolgen. Die Verdampfungsräume der beiden Kondensatorverdampfer können auch auf unterschiedlichem Druck- und damit Temperaturniveau betrieben werden. Der Druck im Sumpf der Niederdruckkolonne ergibt sich aus dem Druckverlust der Niederdruckkolonne zuzüglich der Druckverluste der Abluft (z.B. zur Regenerierung). Insbesondere wenn man gasförmigen Sauerstoff erzeugt, den man direkt aus dem Sumpf der Niederdruckkolonne abzieht, d.h. also keine Innenverdichtung erfolgt, kann der Verdampfungsraum des ers-

ten Kondensatorverdampfer in dem Kompartiment am Kopf der Hochdruckkolonne auf einem niedrigeren Druckniveau von beispielsweise 1,1 bis 1,25 bar betrieben werden als der Verdampfungsraum des zweiten Kondensatorverdampfers im Sumpf der Niederdruckkolonne, das bei beispielsweise 1,2 bis 1,4 bar liegen kann, wodurch sich Heizfläche einsparen lässt. In diesem Fall kann in dem ersten Kondensatorverdampfer verdampfte Flüssigkeit nicht in die Niederdrucksäule, sondern umgekehrt über eine Leitung aus dem Sumpf der Niederdruckkolonne Gas in den Verdampfungsraum des ersten Kondensatorverdampfers eingespeist werden.

[0038] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann insbesondere vorgesehen sein, dass in dem ersten Kondensatorverdampfer aus dem Gas aus der Hochdruckkolonne ein erstes Kondensat gebildet wird, und dass das erste Kondensat zumindest zu einem Teil in die Hochdruckkolonne oder aber sowohl in die Hochdruckkolonne als auch in die Niederdruckkolonne eingespeist wird. In dem zweiten Kondensatorverdampfer kann aus dem Gas aus der Hochdruckkolonne ein zweites Kondensat gebildet werden, das ebenfalls zumindest zu einem Teil in die Hochdruckkolonne oder sowohl in die Hochdruckkolonne als auch in die Niederdruckkolonne eingespeist wird. Von bekannten Verfahren aus dem Stand der Technik, bei denen zweigeteilte Badkondensatoren eingesetzt werden, unterscheidet sich diese Variante der vorliegenden Erfindung also dadurch, dass Rücklaufflüssigkeit für die Hochdruckkolonne auch unter Verwendung des in der Niederdruckkolonne angeordneten Kondensatorverdampfers bereitgestellt wird.

[0039] Die beiden Kondensate können dabei auch vollständig oder zumindest zum Teil vereinigt und in einstellbaren Anteilen auf die Hoch- und die Niederdruckkolonne verteilt werden. Auf diese Weise können besonders günstige Rücklaufverhältnisse eingestellt werden. Die Kondensate können jedoch auch zumindest zum Teil separat in die Hoch- und Niederdruckkolonne eingespeist werden. Zumindest eines der beiden Kondensate kann dabei auch pumpenlos in die Hochdruckkolonne und/oder in die Niederdruckkolonne eingespeist werden.

[0040] Das Gas aus der Hochdruckkolonne, das unter Verwendung des ersten Kondensatorverdampfers und des zweiten Kondensatorverdampfers kondensiert wird, kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung ausschließlich Kopfgas aus der Hochdruckkolonne, aber auch über einen Seitenabzug aus der Hochdruckkolonne entnommenes Gas und Kopfgas aus der Hochdruckkolonne umfassen. Das über den Seitenabzug aus der Hochdruckkolonne entnommene Gas und das Kopfgas aus der Hochdruckkolonne können getrennt voneinander jeweils in einem der zwei Kondensatorverdampfer kondensiert werden. Die beiden entsprechend gebildeten Kondensate können gemeinsam oder getrennt voneinander an gleichen oder an unterschiedlichen Positionen in die Hochdruckkolonne und/oder in die Niederdruckkolonne eingespeist werden.

[0041] Insbesondere kann im Rahmen der vorliegen-

den Erfindung Energie durch ein reduziertes Druckniveau der Hochdruckkolonne eingespart werden, wenn unter Verwendung des ersten Kondensatorverdampfers das Kopfgas der Hochdruckkolonne und unter Verwendung des zweiten Kondensatorverdampfers das über den Seitenabzug aus der Hochdruckkolonne entnommene Gas, beispielsweise mit einem Stickstoffgehalt von 92 bis 97%, insbesondere ca. 95%, kondensiert werden. Das Kopfgas der Hochdruckkolonne weist insbesondere einen Gehalt von mehr als 99% Stickstoff auf. Der Druck im Verdampfungsraum des ersten Kondensatorverdampfers ist dabei vorteilhafterweise niedriger als im Sumpf der Niederdruckkolonne. Ersterer liegt beispielsweise bei 1,1 bis 1,25 bar, letzterer beispielsweise bei 1,2 bis 1,4 bar. Die Hochdruckkolonne kann hierbei beispielsweise bei 4,7 bis 5,1 bar betrieben werden.

[0042] Zu den Merkmalen der erfindungsgemäß ebenfalls vorgeschlagenen Luftzerlegungsanlage sei auf den entsprechenden unabhängigen Patentanspruch ausdrücklich verwiesen. Die Luftzerlegungsanlage ist insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens eingerichtet, wie es zuvor in Ausgestaltungen erläutert wurde. Auf die obigen Erläuterungen bezüglich des erfindungsgemäßen Verfahrens und seiner vorteilhaften Ausgestaltungen sei daher ausdrücklich verwiesen.

[0043] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert, die die bevorzugten Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung veranschaulichen.

Figurenbeschreibung

[0044] Die Figuren 1 bis 3 veranschaulichen Luftzerlegungsanlagen gemäß unterschiedlicher Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung.

[0045] 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.

[0046] Die in den Figuren in Blockdarstellung vereinfachten Komponenten können in beliebiger fachüblicher Weise ausgebildet sein. Es handelt sich dabei um eine Verdichtungseinheit 1, die insbesondere einen bekannten Hauptluftverdichter umfasst, eine Luftreinigungseinheit 2, die insbesondere ein bekanntes Adsorptionssystem umfasst, und eine Hauptwärmetauscheinheit 3, die insbesondere einen bekannten Hauptwärmetauscher umfasst. Durch diese Einheiten, die zur Veranschaulichung der allgemeinen Anwendbarkeit unverknüpft dargestellt sind, werden in den in den Figuren veranschaulichten Beispielen zwei symbolisch dargestellte Einsatzluftströme A und B bereitgestellt. Die Erfindung ist durch die spezifische Art der Bereitstellung der Einsatzluftströme sowie deren Art, Anzahl, Aggregatzustand, Druck usw. nicht beschränkt. In den jeweiligen Luftzerlegungs-

anlagen gebildete Luftprodukte sind nicht bzw. nicht in ihrer Gesamtheit veranschaulicht.

[0047] Die Luftzerlegungsanlagen können beliebige weitere Komponenten aufweisen. Zu beispielhaften Ausgestaltungen sei auf die zitierte Fachliteratur, insbesondere den erwähnten Abschnitt 2.2.5, "Cryogenic Rectification", bei Häring und die dortige Figur 2.3A ausdrücklich verwiesen.

[0048] Die Luftzerlegungsanlagen weisen als gemeinsame Merkmale jeweils ein Rektifikationskolonnensystem 10 auf, das eine Hochdruckkolonne 11 und eine Niederdruckkolonne 12 umfasst. Die Hochdruckkolonne 11 und die Niederdruckkolonne 12 können auf bekannten Druckniveaus betrieben werden. Die Hochdruckkolonne 11 ist neben der Niederdruckkolonne 12 angeordnet. In dem Rektifikationskolonnensystem 10 wird jeweils Gas aus der Hochdruckkolonne 11 unter Verwendung eines ersten Kondensatorverdampfers 13, der in einem Kompartiment 15 am Kopf der Hochdruckkolonne 11 angeordnet ist, und eines zweiten Kondensatorverdampfers 14, der im Sumpfbereich der Niederdruckkolonne 12 angeordnet ist, jeweils gegen Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne 12 kondensiert, wie nachfolgend zu den einzelnen Ausgestaltungen erläutert.

[0049] In allen Fällen ist, ungeachtet der nicht erfolgten spezifischen zeichnerischen Darstellung, zumindest der erste Kondensatorverdampfer 13 als Kaskadenverdampfer ausgebildet ist, und dem ersten Kondensatorverdampfer 13 wird die Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne 12 in eine Menge zugeführt, die eine in dem ersten Kondensatorverdampfer 13 verdampfte Menge übersteigt. In dem ersten Kondensatorverdampfer 13 nicht verdampfte Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne 12 wird in die Niederdruckkolonne 12 zurückgeführt.

[0050] Als weitere Komponenten sind in den nachfolgenden Figuren ein Unterkühlungsgegenströmer 16, Pumpen 17 und 18 und ein Abscheidebehälter veranschaulicht. Diese Elemente sind nicht in allen Ausgestaltungen vorhanden.

[0051] In Figur 1 ist eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung in Form eines vereinfachten Prozessflussdiagramms veranschaulicht und insgesamt mit 100 bezeichnet.

[0052] Wie anhand der Luftzerlegungsanlage 100 veranschaulicht, wird hier ausschließlich Kopfgas der Hochdruckkolonne 11 in dem ersten Kondensatorverdampfer 13 und in dem zweiten Kondensatorverdampfer 14 kondensiert. Dieses wird der Hochdruckkolonne 11 in Form eines Stoffstroms C entnommen und in Form von Teilströmen D und E durch den ersten Kondensatorverdampfer 13 und den zweiten Kondensatorverdampfer 14 geführt. Aus dem Teilstrom D gebildetes Kondensat wird hier teilweise mit aus dem Teilstrom E gebildeten und mittels der Pumpe 17 geförderten Kondensat zu einem Sammelstrom F vereinigt und als Rücklauf auf die Hochdruckkolonne 11 zurückgeführt. Ein Teilstrom G kann auch in der veranschaulichten Weise durch den Unter-

kühlungsgegenströmer 16 geführt und in die Niederdruckkolonne 12 eingespeist werden. Da hier insbesondere kein oder nur ein sehr kleiner Stickstoffabschnitt 12a in der Niederdruckkolonne 12 vorhanden ist, kann dieser Stoffstrom G gering ausfallen oder entfallen. Der Hochdruckkolonne 11 wird ferner über einen Seitenabzug Gas in Form eines Stoffstroms H entnommen, der im dargestellten Beispiel ebenfalls durch den Unterkühlungsgegenströmer 16 geführt und in die Niederdruckkolonne 12 eingespeist wird.

[0053] Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne 12 kann in Form eines Stoffstroms K als Produkt ausgeleitet werden. Weitere Sumpfflüssigkeit wird in Form eines Stoffstroms L mittels der Pumpe 18 dem Kompartiment 15 bzw. dem ersten Kondensatorverdampfer 13 zugeführt. Es handelt sich dabei, wie erwähnt, um eine Menge, die eine in dem ersten Kondensatorverdampfer 13 verdampfte Menge übersteigt. In dem ersten Kondensatorverdampfer 13 nicht verdampfte Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne 12 wird in Form eines Stoffstroms M in die Niederdruckkolonne 12 zurückgeführt. Entsprechend wird auch verdampftes Gas in Form eines Stoffstroms N in die Niederdruckkolonne 12 zurückgeführt.

[0054] Wie nicht gesondert erläutert, können aus der Niederdruckkolonne 12 Unreinstickstoff O, gasförmiger Stickstoff P und Flüssigstickstoff Q ausgeleitet werden.

[0055] In Figur 2 ist eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung in Form eines vereinfachten Prozessflussdiagramms veranschaulicht und insgesamt mit 200 bezeichnet.

[0056] Im Gegensatz zu der in Figur 1 veranschaulichten Luftzerlegungsanlage 100 wird hier in dem zweiten Kondensatorverdampfer 14 nicht Kopfgas der Hochdruckkolonne 11, also der Stoffstrom E, sondern Gas von einem Seitenabzug der Hochdruckkolonne 11 in Form eines Stoffstroms R kondensiert. Auf diese Weise kann auf die Pumpe 17 verzichtet werden. Das in dem ersten Kondensatorverdampfer 13 auch hier kondensierte Kopfgas der Hochdruckkolonne 11 ist auch hier mit D bezeichnet. Der kondensierte Stoffstrom R und weiteres Fluid, das in Form eines Stoffstroms S über einen Seitenabzug aus der Hochdruckkolonne 11 entnommen wird, wird in den Abscheidebehälter 19 eingespeist. Gas aus dem Abscheidebehälter 19, das nicht gesondert bezeichnet ist, kann an die Atmosphäre abgegeben werden, wohingegen Flüssigkeit aus dem Abscheidebehälter 19 in Form eines Stoffstroms T durch den Unterkühlungsgegenströmer 16 geführt und anschließend in die Niederdruckkolonne 12 eingespeist wird.

[0057] In Figur 3 ist eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung in Form eines vereinfachten Prozessflussdiagramms veranschaulicht und insgesamt mit 300 bezeichnet.

[0058] Die Luftzerlegungsanlage 300 ähnelt hinsichtlich der Stromführung der Stoffströme C bis E der in Figur

1 veranschaulichten Luftzerlegungsanlage 100, weist allerdings den Abscheidebehälter 19 auf. In diesen werden ein nicht in Form eines Stoffstroms U in die Hochdruckkolonne 11 eingespeister Anteil des Stoffstroms D, hier mit V bezeichnet, und der Stoffstrom E eingespeist. Auch hier kann Gas aus dem Abscheidebehälter 19, das nicht gesondert bezeichnet ist, an die Atmosphäre abgegeben werden, wohingegen Flüssigkeit aus dem Abscheidebehälter 19 in Form eines Stoffstroms W durch den Unterkühlungsgegenströmer 16 geführt und anschließend in die Niederdruckkolonne 12 eingespeist wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft, bei dem eine Luftzerlegungsanlage (100-300) mit einem Rektifikationskolonnensystem (10) verwendet wird, das eine Hochdruckkolonne (11) und Niederdruckkolonne (12) aufweist, wobei die Hochdruckkolonne (11) neben der Niederdruckkolonne (12) angeordnet ist und wobei Gas aus der Hochdruckkolonne (11) unter Verwendung eines ersten Kondensatorverdampfers (13), der in einem Kompartiment (15) am Kopf der Hochdruckkolonne (11) angeordnet ist, und eines zweiten Kondensatorverdampfers (14), der im Sumpfbereich der Niederdruckkolonne (12) angeordnet ist, jeweils gegen Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne (12) kondensiert wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest der erste Kondensatorverdampfer (13) als Kaskadenverdampfer ausgebildet ist, dass dem ersten Kondensatorverdampfer (13) die Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne (12) in einer Menge zugeführt wird, die eine in dem ersten Kondensatorverdampfer (13) verdampfte Menge übersteigt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem zumindest ein Teil der in dem ersten Kondensatorverdampfer (13) nicht verdampfte Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne (12) in die Niederdruckkolonne (12) zurückgeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem zumindest ein Teil der in dem ersten Kondensatorverdampfer (13) nicht verdampfte Sumpfflüssigkeit aus der Luftzerlegungsanlage (100-300) ausgeleitet wird.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die nicht verdampfte Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne (12), die in die Niederdruckkolonne (12) zurückgeführt wird, oberhalb oder unterhalb eines oberen Endes des zweiten Kondensatorverdampfers (14) und oberhalb eines Flüssigkeitsspiegels der Sumpfflüssigkeit in der Niederdruckkolonne (12) in den Sumpfbereich der Niederdruckkolonne (12) eingespeist wird.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der zweite Kondensatorverdampfer (14) als Kaskadenverdampfer, als einstufiger Badverdampfer oder als Fallfilmverdampfer ausgebildet ist.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der erste Kondensatorverdampfer (13) und der zweite Kondensatorverdampfer (14) seriell oder parallel mit dem zu verflüssigenden Gas aus der Hochdruckkolonne (11) und/oder seriell oder parallel mit der Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne (12) beaufschlagt werden.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die in dem ersten Kondensatorverdampfer (13) nicht verdampfte Sumpfflüssigkeit und ferner in dem ersten Kondensatorverdampfer verdampftes Gas in Form eines oder mehrerer Stoffströme in die Niederdruckkolonne (12) zurückgeführt wird.
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem in dem ersten Kondensatorverdampfer (13) aus dem Gas aus der Hochdruckkolonne (11) ein erstes Kondensat gebildet wird, und bei dem das erste Kondensat zumindest zu einem Teil in die Hochdruckkolonne (11) oder in die Hochdruckkolonne (11) und in die Niederdruckkolonne (12) eingespeist wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem in dem zweiten Kondensatorverdampfer (14) aus dem Gas aus der Hochdruckkolonne (11) ein zweites Kondensat gebildet wird, und bei dem das zweite Kondensat zumindest zu einem Teil in die Hochdruckkolonne (11) oder in die Hochdruckkolonne (11) und in die Niederdruckkolonne (12) eingespeist wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem das erste und/oder das zweite Kondensat zumindest zu einem Teil in einstellbaren Anteilen auf die Hochdruckkolonne (11) und auf die Niederdruckkolonne (12) verteilt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 oder 10, bei dem das erste und/oder das zweite Kondensat pumpenlos in die Hochdruckkolonne (11) und/oder in die Niederdruckkolonne (12) eingespeist wird.
12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das Gas aus der Hochdruckkolonne (11), das unter Verwendung des ersten Kondensatorverdampfers (13) und des zweiten Kondensatorverdampfers (14) kondensiert wird, über einen Seitenabzug aus der Hochdruckkolonne (11) entnommenes Gas und Kopfgas aus der Hochdruckkolonne (11) umfasst.
13. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem das über den

Seitenabzug aus der Hochdruckkolonne (11) entnommene Gas und das Kopfgas aus der Hochdruckkolonne (11) getrennt voneinander jeweils in einem der zwei Kondensatorverdampfer (13, 14) kondensiert werden.

5

14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Verdampfungsraum des ersten Kondensatorverdampfers (11) auf einem geringeren Druckniveau als der Verdampfungsraum des zweiten Kondensatorverdampfers (12) betrieben wird. 10
15. Luftzerlegungsanlage (100-300) mit einem Rektifikationskolonnensystem (10), das eine Hochdruckkolonne (11) und eine Niederdruckkolonne (12) aufweist, wobei die Hochdruckkolonne (11) neben der Niederdruckkolonne (12) angeordnet ist, ein erster Kondensatorverdampfer (13) in einem Kompartiment (15) am Kopf der Hochdruckkolonne (11) bereitgestellt ist, ein zweiter Kondensatorverdampfer (14) im Sumpfbereich der Niederdruckkolonne (12) bereitgestellt ist, und der erste Kondensatorverdampfer (13) und der zweite Kondensatorverdampfer (14) dafür eingerichtet sind, Gas aus der Hochdruckkolonne (11) gegen Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne (12) zu kondensieren, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest der erste Kondensatorverdampfer (13) als Kaskadenverdampfer ausgebildet ist, und dass Mittel bereitgestellt sind, die dafür eingerichtet sind, dem ersten Kondensatorverdampfer (13) die Sumpfflüssigkeit aus der Niederdruckkolonne (12) in einer Menge zuzuführen, die eine in dem ersten Kondensatorverdampfer (13) verdampfte Menge übersteigt. 35

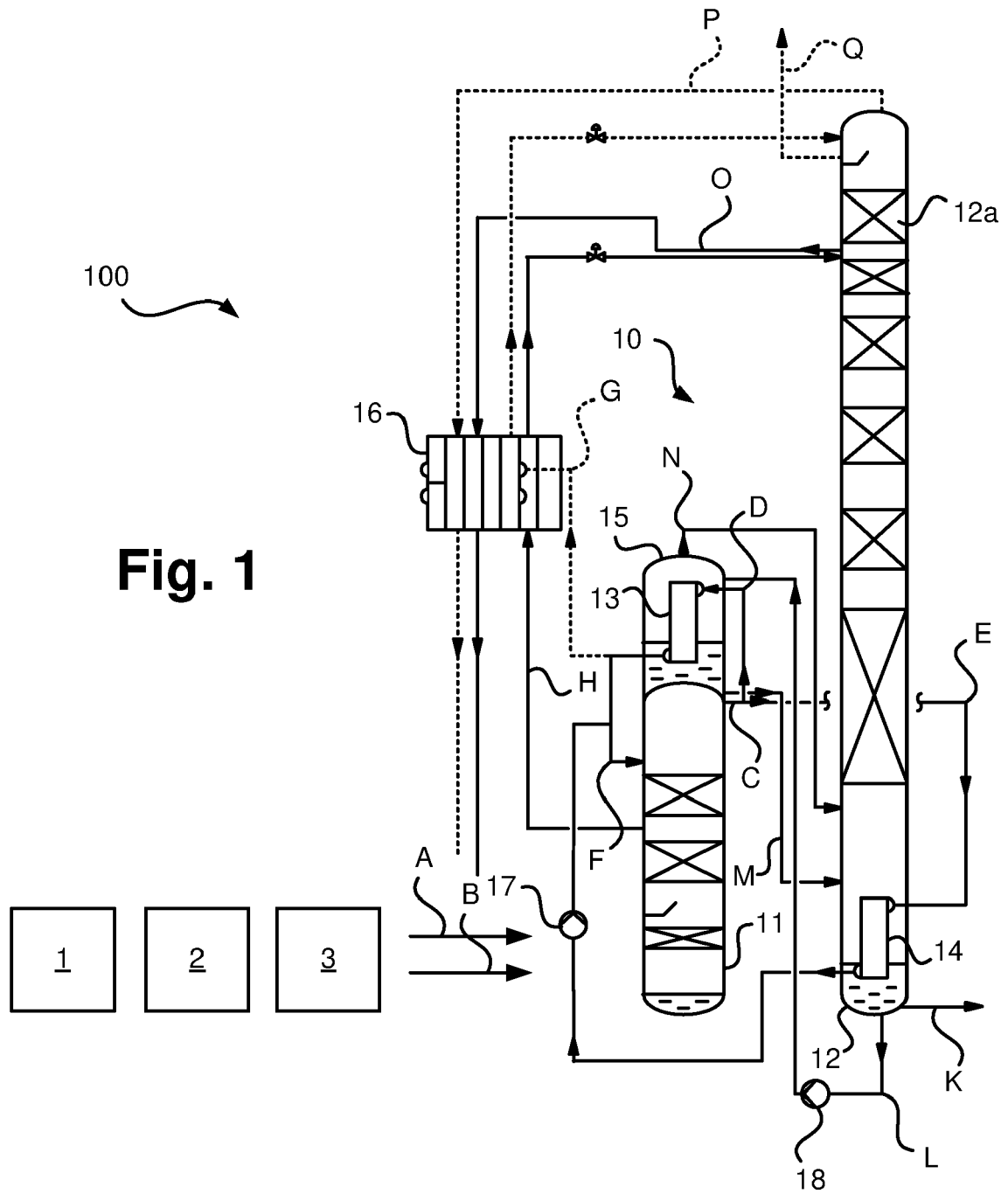
35

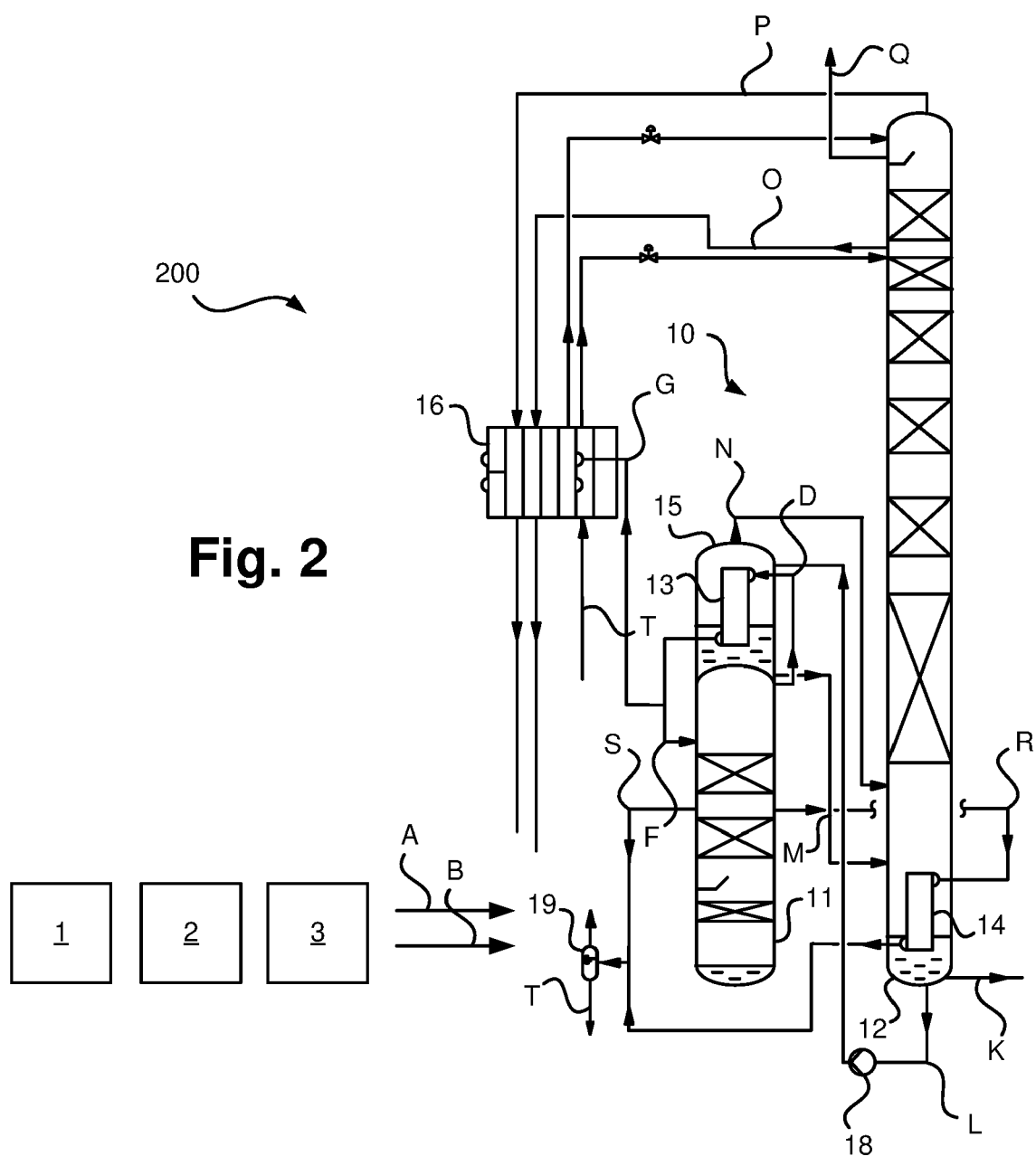
40

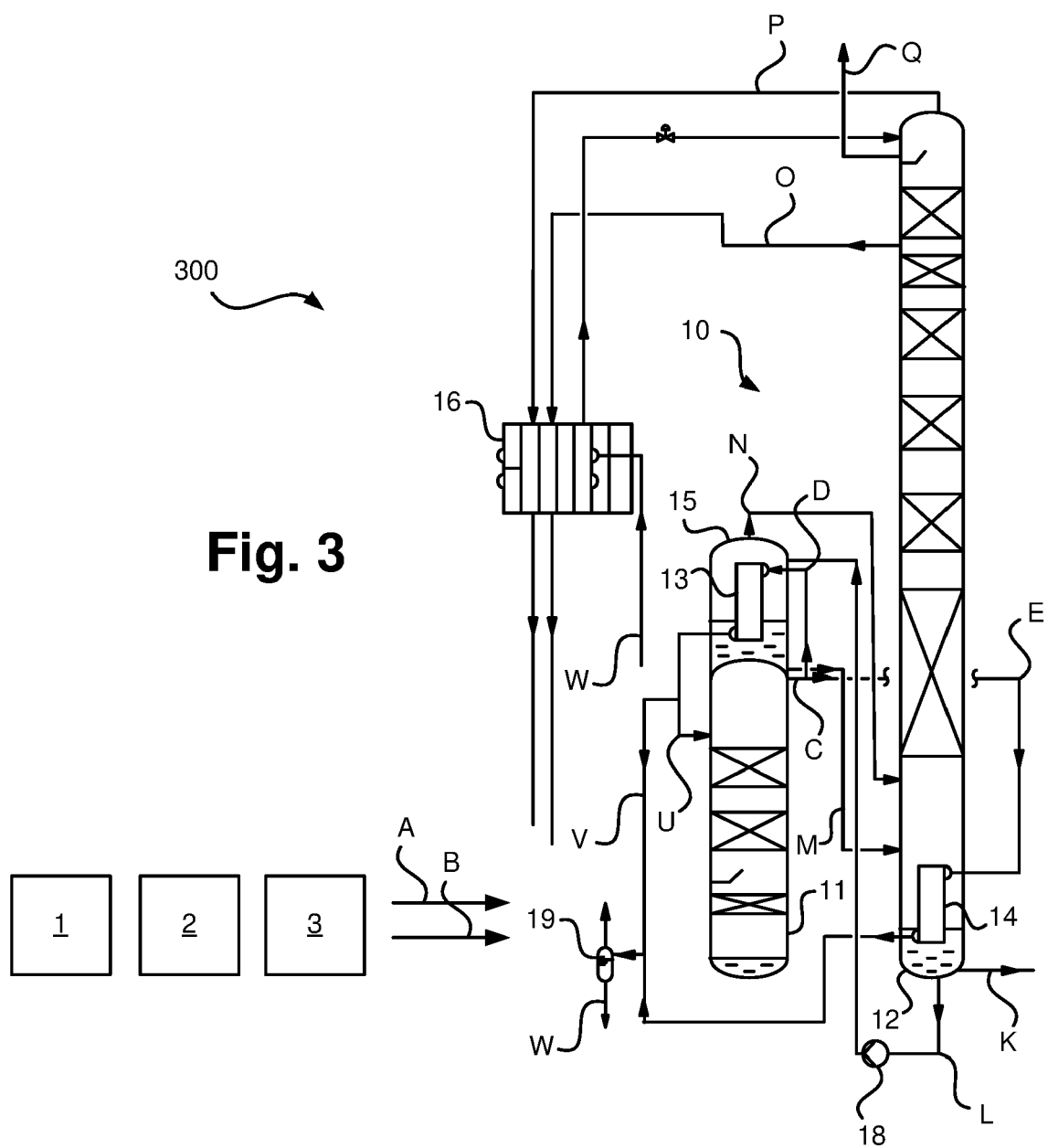
45

50

55









EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 20 02 0218

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 1 094 286 A1 (LINDE AG [DE]) 25. April 2001 (2001-04-25)	1-13,15	INV. F25J3/04
A	* Abbildungen 1,3 *	14	
Y	US 2 913 882 A (SCHILLING CLARENCE J) 24. November 1959 (1959-11-24)	1-13,15	
A	* Spalte 3, Zeilen 15-27; Abbildung 1 * * Spalte 3, Zeile 58 - Spalte 4, Zeile 5 *	14	
Y	DE 849 850 C (MESSER ADOLF GMBH) 18. September 1952 (1952-09-18)	1-4, 6-13,15	
A	* Abbildung 1 *	5,14	
Y	DE 198 06 576 A1 (LINDE AG [DE]) 6. August 1998 (1998-08-06)	1,3,5,6, 8-15	
A	* Spalte 3, Zeilen 37-54; Abbildungen 2,3 *	2,4,7	
Y	DE 10 2005 028012 A1 (LINDE AG [DE]) 14. September 2006 (2006-09-14)	1-15	
Y	* Absätze [0023], [0026]; Abbildung 1 *		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Y	DE 22 38 865 B1 (LINDE AG) 11. Oktober 1973 (1973-10-11)	2,4,7	F25J
	* Spalte 2, Zeilen 42-48; Abbildung 1 *		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 28. September 2020	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 : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 20 02 0218

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

28-09-2020

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1094286 A1	25-04-2001	AT 298070 T EP 1094286 A1 ES 2243182 T3	15-07-2005 25-04-2001 01-12-2005
US 2913882 A	24-11-1959	GB 832607 A US 2913882 A	13-04-1960 24-11-1959
DE 849850 C	18-09-1952	KEINE	
DE 19806576 A1	06-08-1998	KEINE	
DE 102005028012 A1	14-09-2006	KEINE	
DE 2238865 B1	11-10-1973	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

- DE 19939294 [0016]
- EP 1287302 A1 [0017]
- DE 827364 B [0026]
- DE 2402246 A1 [0026]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Industrial Gases Processing. Wiley-VCH, 2006 [0002]
- Heat Exchangers and Condensers, 49 ff [0011]
- Combined Evaporator/Condenser - Heat Transfer Units, 52 ff [0011]