



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
25.09.2024 Patentblatt 2024/39

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F25J 1/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23020148.5**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
**F25J 3/0409; F25J 3/04096; F25J 3/0423;
F25J 3/04254; F25J 3/04321; F25J 3/04357;
F25J 3/04393; F25J 3/04642; F25J 3/04678;
F25J 3/04703; F25J 3/04715; F25J 3/04727;
F25J 3/04745; F25J 3/04854; F25J 3/04872;**

(22) Anmeldetag: **22.03.2023**

(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)

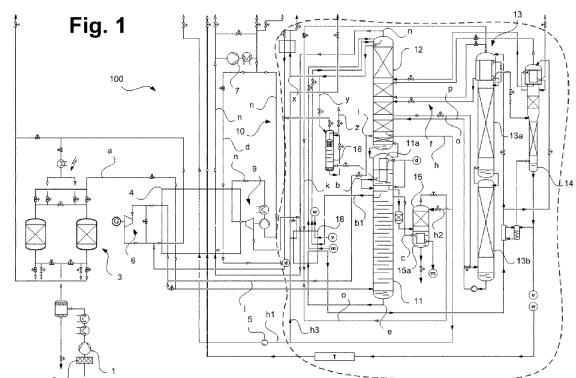
(74) Vertreter: **Imhof, Dietmar**
Linde GmbH
Intellectual Property EMEA
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14
82049 Pullach (DE)

(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 erste Rektifikationskolonne (11), eine zweite Rektifikationskolonne (12) und eine dritte Rektifikationskolonne (13) aufweist, bei dem die erste Rektifikationskolonne (11) auf einem ersten Druckniveau betrieben und unter Verwendung von in dem Hauptwärmetauscher (4) abgekühlter, gasförmiger Druckluft gespeist wird, die zweite Rektifikationskolonne (12) auf einem zweiten Druckniveau betrieben und unter Verwendung von Sumpfflüssigkeit der ersten Rektifikationskolonne (11) gespeist wird, die dritte Rektifikationskolonne (13) auf einem dritten Druckniveau betrieben und unter Verwendung von Fluid gespeist wird, das aus der zweiten Rektifikationskolonne (12) entnommen wird, das erste Druckniveau bei 9 bis 14,5 bar am Kopf der ersten Rektifikationskolonne (11) liegt und das zweite Druckniveau bei 2 bis 5 bar am Kopf der zweiten Rektifikationskolonne (12) liegt, und Kopfgas der zweiten Rektifikationskolonne (12) zur Bildung eines Turbinenkreislaufstroms verwendet wird, der zyklisch und nacheinander einer ersten Erwärmung in dem Unterkühlungsgegenströmer (18), einer zweiten Erwärmung in dem Hauptwärmetauscher (4), einer Verdichtung, einer Abkühlung und einer Entspannung unterworfen wird. Es ist vorgesehen, dass das zur Bildung

des Turbinenkreislaufstroms verwendete Kopfgas der zweiten Rektifikationskolonne (12) teilweise oder vollständig stromab der Entspannung und stromauf der ersten Erwärmung des Turbinenkreislaufstroms mit dem Turbinenkreislaufstrom vereinigt wird. Eine entsprechende Anlage (100-400) ist ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung.



(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC): (Forts.)

F25J 2200/06; F25J 2200/20; F25J 2200/32;
F25J 2200/34; F25J 2200/94; F25J 2205/30;
F25J 2205/60; F25J 2210/42; F25J 2215/56;
F25J 2235/04; F25J 2245/02; F25J 2245/40;
F25J 2245/42

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] Aus der WO 2021/204424 A2 ist ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft bekannt, bei dem Kopfgas der Niederdruckkolonne im Hauptwärmetauscher erwärmt, verdichtet, wieder abgekühlt, und nach einer teilweisen oder vollständigen Verflüssigung oder in unverflüssigtem Zustand teilweise oder vollständig oder in Anteilen in die Druckkolonne und/oder in die Niederdruckkolonne zurückgeführt wird.

[0004] Ein solches Verfahren hat sich gemäß dieser Druckschrift insbesondere für ein Anforderungsprofil als vorteilhaft erwiesen, das die Gewinnung von gasförmigem Druckstickstoff auf einem bestimmten Druckniveau und eine zusätzliche Gewinnung von Argon umfasst. Ein aus der Druckkolonne und der Niederdruckkolonne gebildetes Doppelkolonnensystem wird dabei auf einem erhöhten Druckniveau betrieben. Die Niederdruckkolonne ist durch die Verwendung eines geeigneten Stickstoffabschnitts im oberen Bereich dafür eingerichtet, ein sehr stickstoffreiches Kopfgas bereitzustellen.

[0005] Es besteht weiterhin der Bedarf nach Verfahren, die es erlauben, die Bereitstellung von Luftprodukten, insbesondere unter Verwendung von Kopfgas der Niederdruckkolonne wie soeben erläutert, weiter zu verbessern und effizienter und einfacher zu gestalten.

Offenbarung der Erfindung

[0006] 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.

[0007] Nachfolgend werden zunächst einige bei der Beschreibung der vorliegenden Erfindung und ihrer Vorteile verwendete Begriffe sowie der zugrunde liegende technische Hintergrund näher erläutert.

[0008] Eine "Entspannungsturbine" bzw. "Entspannungsmaschine", die über eine gemeinsame Welle mit

weiteren Entspannungsturbinen oder Energiewandlern wie Ölbremse, Generatoren oder Verdichtern gekoppelt sein kann, ist zur Entspannung eines gasförmigen oder zumindest teilweise flüssigen Stroms eingerichtet. Insbesondere können Entspannungsturbinen zum Einsatz in der vorliegenden Erfindung als Turboexpander ausgebildet sein. Wird ein Verdichter mit einer oder mehreren Entspannungsturbinen angetrieben, jedoch ohne extern, beispielsweise mittels eines Elektromotors, zugeführte Energie, wird der Begriff "turbinengetriebener" Verdichter oder alternativ "Booster" verwendet. Anordnungen aus turbinengetriebenen Verdichtern und Entspannungsturbinen werden auch als "Boosterturbinen" oder alternativ als "Turbinenbooster" bezeichnet. Ist nachfolgend davon die Rede, dass eine Entspannung in einer Boosterturbine erfolgt, soll damit der Turbinenteil gemeint sein. Entsprechendes gilt für die Verdichtung, die dann in dem Verdichterteil der Boosterturbine oder des Turbinenboosters erfolgt.

[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 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 Flüssigkeit oder das 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. Ist hier beispielsweise von "Sauerstoff" oder "Stickstoff" die Rede, sei hierunter auch eine Flüssigkeit oder ein Gas verstanden, der reich an Sauerstoff oder Stickstoff ist, jedoch nicht notwendigerweise ausschließlich hieraus bestehen muss.

[0010] 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 Be-

reichen, die einander überlappen. Insbesondere schließen beispielsweise Druckniveaus unvermeidliche oder zu erwartende Druckverluste ein. Entsprechendes gilt für Temperaturniveaus.

Vorteile der Erfindung

[0011] Lediglich zur Vermeidung von Missverständnissen sei dabei betont, dass dann, wenn nachfolgend von einem Turbinenkreislaufstrom die Rede ist, ein zur Erzeugung von zusätzlicher Kälte verwendeter, im Kreislauf geführter Stoffstrom die Rede ist und nicht ein ebenfalls bekannter bzw. verwendeter Stoffstrom, der in einem Kreislauf geführt und zur Verbesserung der Rektifikation in der Niederdruckkolonne verwendet wird. Letzterer stellt im hier verwendeten Sprachgebrauch einen Rektifikationskreislaufstrom dar. Turbinen- und Rektifikationskreislaufstrom können aber in bestimmten Abschnitten gemeinsam geführt werden. Der Rektifikationskreislaufstrom wird aber nicht turbinenentspannt, sondern typischerweise nach einer Abkühlung im Hauptwärmetauscher in die Rektifikationskolonnenanordnung zurückgeführt.

[0012] Der nachfolgend als solcher bezeichnete Turbinenkreislaufstrom muss nicht dem im Stand der Technik, z.B. der WO 2021/204424 A2, als Kreislaufstrom bezeichneten Stoffstrom entsprechen. Nachfolgend wird mit dem Begriff "Turbinenkreislaufstrom" Fluid bezeichnet, das zyklisch warmseitig des Hauptwärmetauschers verdichtet, ggf. geboostert, abgekühlt, turbinenentspannt, durch einen Unterkühlungsgegenströmer geführt, im Hauptwärmetauscher erwärmt und danach unter Schließung des Kreislaufs wieder warmseitig des Hauptwärmetauschers verdichtet wird.

[0013] In herkömmlichen Verfahren der eingangs erläuterten Art ist typischerweise eine teilweise Verflüssigung des Prozessluftstroms, d.h. zumindest eines Teils der in die Druckkolonne eingespeisten Luft, auch als "Einsatzluft" bezeichnet, erforderlich, um die Enthalpiebilanz um das Rektifikationssystem herum zu schließen. Diese teilweise Verflüssigung wird nachfolgend auch als "Vorverflüssigung" bezeichnet. Der Grund hierfür liegt insbesondere darin, dass die typischerweise erfolgende Entnahme einer vergleichsweise großen Menge an flüssigen Produkten aus der Luftzerlegungsanlage zu einem vergleichsweise niedrigen Enthalpiewert des einströmenden Prozessluftstroms führt. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wurde nun erkannt, dass diese Vorverflüssigung negative Auswirkungen auf den Rektifikationsprozess hat und vorteilhafterweise vermieden oder verringert werden sollte, um den Wirkungsgrad des Luftzerlegungsprozesses zu verbessern. Die negativen Auswirkungen ergeben sich herkömmlicherweise daraus, dass der verflüssigte Anteil den Trennprozess in der Drucksäule umgeht und am Hauptkondensator nicht kondensiert wird. Die dadurch am Hauptkondensator fehlende Leistung muss kompensiert werden.

[0014] Wie nun im Rahmen der vorliegenden Erfin-

dung erkannt wurde, kann dieses Problem durch eine Führung eines Turbinenkreislaufstroms oder eines Teils hiervon nach dessen Entspannung durch einen Unterkühlungsgegenströmer, der Teil der Luftzerlegungsanlage ist, und durch den bestimmte Stoffströme in der nachfolgend erläuterten Weise geführt werden, adressiert werden. Es erfolgt eine Vereinigung des Turbinenkreislaufstroms stromauf dieses Unterkühlungsgegenströmers mit Kopfgas der Niederdruckkolonne. Da hierbei ein Temperaturniveau von ca. 90 K erreicht wird, kann die Enthalpie des Prozessluftstroms erhöht und die Vorverflüssigung desselben bei ca. 110 K vermieden bzw. signifikant reduziert werden.

[0015] Die vorliegende Erfindung schlägt dabei ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft unter Verwendung einer Luftzerlegungsanlage mit einem Hauptwärmetauscher und einen Unterkühlungsgegenströmer sowie einem Rektifikationskolonnensystem vor, das eine erste Rektifikationskolonne, eine zweite Rektifikationskolonne und eine dritte Rektifikationskolonne aufweist. Die erste und zweite Rektifikationskolonne stellen dabei insbesondere Rektifikationskolonnen dar, die gemäß einer Druckkolonne und einer Niederdruckkolonne eines bekannten Doppelkolonnensystems ausgebildet sein können und grundsätzlich vergleichbar verschaltet sind. Diese werden jedoch auf einem erhöhten Druckniveau betrieben. Die dritte Rektifikationskolonne ist insbesondere eine Rohargonkolonne oder eine Einzelkolonne zur Gewinnung eines Argonprodukts, die die Funktionen von Roh- und Reinargonkolonne teilweise miteinander vereint, indem sie einen zur Abtrennung von Stickstoff vorgesehenen weiteren Abschnitt aufweist.

[0016] Die im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorgesehene erste Rektifikationskolonne wird auf einem ersten Druckniveau betrieben, die erste Rektifikationskolonne wird unter Verwendung von in dem Hauptwärmetauscher abgekühlter Druckluft gespeist, und in der ersten Rektifikationskolonne werden insbesondere eine gegenüber dem ersten Einsatzstrom an Sauerstoff und Argon angereicherte Sumpfflüssigkeit und ein stickstoffreiches Kopfgas gebildet. Durch die erfindungsgemäß vorgeschlagenen Maßnahmen kann der erste Einsatzstrom insbesondere in vollständig oder im Wesentlichen vollständig gasförmigem Zustand in die erste Rektifikationskolonne eingespeist werden, was daher ein Merkmal von Ausgestaltungen der Erfindung darstellen kann, wobei ein "im Wesentlichen" vollständig gasförmiger Zustand einen Gasanteil von mehr als 90%, 95% oder 99% im Stoffmengenanteil bezeichnen soll.

[0017] Die Sumpfflüssigkeit der ersten Rektifikationskolonne kann insbesondere einen Gehalt von 28 bis 38% Sauerstoff sowie Argon und Stickstoff aufweisen. Das Kopfgas der ersten Rektifikationskolonne kann insbesondere einen Gehalt von 0,1 bis 100 ppb (Milliardstel Anteile), beispielsweise ca. 10 ppb, Sauerstoff, 1 bis 100 ppm (Millionstel Anteile), beispielsweise ca. 30 ppm, Argon, und ansonsten im Wesentlichen Stickstoff und ggf. leichtere Komponenten aufweisen.

[0018] Die zweite Rektifikationskolonne wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung auf einem zweiten Druckniveau betrieben, und die zweite Rektifikationskolonne wird (zumindest) unter Verwendung von Sumpfflüssigkeit der ersten Rektifikationskolonne gespeist. Wie auch nachfolgend erläutert kann die Sumpfflüssigkeit der ersten Rektifikationskolonne, oder ein entsprechender Teil hiervon, dabei insbesondere auch zur Kühlung eines oder mehrerer Kopfkondensatoren der Argongewinnungskolonne(n), d.h. insbesondere auch der dritten Rektifikationskolonne, eingesetzt werden, wodurch ggf. verdampfte und unverdampfte Anteile entstehen, die anschließend als Einsatzstrom oder Einsatzströme in die zweite Rektifikationskolonne eingespeist werden. In der zweiten Rektifikationskolonne werden insbesondere eine sauerstoffreiche Sumpfflüssigkeit und ein stickstoffreiches Kopfgas gebildet.

[0019] Das Kopfgas der zweiten Rektifikationskolonne kann insbesondere mit einem Gehalt von 1 bis 1000 ppb, beispielsweise ca. 100 ppb, Sauerstoff und 3 bis 300 ppm, beispielsweise ca. 90 ppm, Argon gebildet werden. In bestimmten Fällen können das Kopfgas der ersten und der zweiten Rektifikationskolonne auch im Wesentlichen die gleichen Gehalte an den genannten Komponenten aufweisen.

[0020] Die dritte Rektifikationskolonne wird auf einem dritten Druckniveau betrieben, das insbesondere geringfügig geringer als das zweite Druckniveau sein kann, und unter Verwendung von Fluid gespeist, das insbesondere einen höheren Argongehalt als die zweite Sumpfflüssigkeit und das zweite Kopfgas aufweist und aus der zweiten Rektifikationskolonne, typischerweise am sogenannten Argonbauch oder darunter, entnommen wird. In der dritten Rektifikationskolonne wird insbesondere ein gegenüber dem dritten Einsatzstrom an Argon angereichertes drittes Kopfgas gebildet. Die Speisung muss nicht mit dem Fluid aus der zweiten Rektifikationskolonne erfolgen, sondern kann auch unter Verwendung von Fluid erfolgen, das einer weiteren Rektifikationskolonne oder einem anderen Trennapparat entnommen wird, welche ihrerseits bzw. welcher seinerseits mit dem aus der zweiten Rektifikationskolonne entnommenen Fluid gespeist wird. Entsprechendes kann insbesondere dann der Fall sein, wenn in einer Ausgestaltung der Erfindung eine vierte Rektifikationskolonne zur Gewinnung von Hochreinsauerstoff eingesetzt wird.

[0021] Die erste Rektifikationskolonne kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere mit 80 bis 110, beispielsweise 90, theoretischen Böden, die zweite Rektifikationskolonne mit 90 bis 150, beispielsweise 110, theoretischen Böden und die dritte Rektifikationskolonne mit 210 bis 320, beispielsweise 250, theoretischen Böden ausgebildet werden.

[0022] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung liegt das erste Druckniveau bei 9 bis 14,5 bar, beispielsweise ca. 11,6 bar, am Kopf der ersten Rektifikationskolonne und das zweite Druckniveau bei 2 bis 5 bar, beispielsweise ca. 3,5 bar, am Kopf der zweiten Rektifikationsko-

lonne.

[0023] In dem vorgeschlagenen Verfahren wird Kopfgas der zweiten Rektifikationskolonne mit einem Turbinenkreislaufstrom vereinigt, der zyklisch und jeweils nacheinander einer ersten Erwärmung in dem Unterkühlungsgegenströmer, einer zweiten Erwärmung in dem Hauptwärmetauscher, einer Verdichtung, einer Abkühlung und einer Entspannung unter Verwendung einer Entspannungsturbine unterworfen wird. Zur Bedeutung des Begriffs "Turbinenkreislaufstrom" sei auch auf die obigen Erläuterungen verwiesen. Zur Vermeidung von Missverständnissen sei dabei betont, dass dadurch, dass von einer Vereinigung von Kopfgas mit einem Turbinenkreislaufstrom die Rede ist, nichts über die Mengenverhältnisse ausgesagt wird. Mit anderen Worten kann die Menge des mit dem Turbinenkreislaufstrom vereinigten Kopfgases auch deutlich größer sein als der Turbinenkreislaufstrom an der Stelle der Vereinigung. Eine Vereinigung von Kopfgas mit dem Turbinenkreislaufstrom bedeutet, dass Gasmoleküle des Kopfgases Teil des Turbinenkreislaufstroms werden.

[0024] Unter der Angabe "zyklisch und jeweils nacheinander" soll dabei verstanden werden, dass der Turbinenkreislaufstrom in einem Kreislauf durch die entsprechend verwendeten Apparate geführt wird und dabei in jedem Zyklus die genannten Bearbeitungsschritte durchläuft. Ein Kreislaufstrom liegt dabei deshalb vor, weil ein Anteil der individuellen Gasmoleküle desselben mehrfach den genannten Bearbeitungsschritten unterworfen werden, wenngleich an bestimmten Stellen dem Turbinenkreislaufstrom Anteile entnommen werden bzw. weiteres Gas in den Turbinenkreislaufstrom eingespeist wird oder der Turbinenkreislaufstrom streckenweise zusammen mit anderen Kreislaufströmen geführt wird. Bereits durch die Bildung des erläuterten Turbinenkreislaufstroms an sich kann die Effizienz des vorgeschlagenen Luftzerlegungsverfahrens deutlich erhöht werden.

[0025] Ein solches Verfahren wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung dadurch weiter verbessert, dass das mit dem Turbinenkreislaufstrom vereinigte Kopfgas der zweiten Rektifikationskolonne teilweise oder vollständig stromab der Entspannung und stromauf der ersten Erwärmung mit dem Turbinenkreislaufstrom vereinigt wird. Wie erwähnt, erlaubt die vorliegende Erfindung hierdurch einen Verzicht auf eine Vorverflüssigung der Einsatzluft, die der ersten Rektifikationskolonne zugeführt wird.

[0026] Das Vereinigen des Kopfgases mit dem Turbinenkreislaufstrom kann auch am Kopf der zweiten Rektifikationskolonne erfolgen, d.h. innerhalb der zweiten Rektifikationskolonne und in einem oberen Bereich derselben, wobei der "obere Bereich" insbesondere ein Bereich oberhalb des obersten Trennabschnitts ist. Dies ist insbesondere für den Fall vorteilhaft, wenn die zur Entspannung des Turbinenkreislaufstroms verwendete Entspannungsturbine stark in die Vorverflüssigung entspannt, da in diesem Fall die zweite Rektifikationskolonne praktisch als Flüssigkeitsabscheider für den Turbinenkreislaufstrom dienen kann. In einem solchen Fall

versteht sich, dass bei der Entspannung gebildete Flüssigkeit dem Turbinenkreislaufstrom zunächst entzogen wird, indem es in der zweiten Rektifikationskolonne verbleibt. Der Turbinenkreislaufstrom wird in diesem Fall über den Kopf der zweiten Rektifikationskolonne geschlossen.

[0027] In Ausgestaltungen der Erfindung kann auch ein Bypass des Turbinenkreislaufstroms um den Unterkühlungsgegenströmer vorgesehen sein, d.h. das mit dem Turbinenkreislaufstrom vereinigte Kopfgas der zweiten Rektifikationskolonne kann teilweise oder vollständig stromab der Entspannung und anschließend jeweils zu insbesondere einstellbaren Anteilen stromauf und stromab der ersten Erwärmung mit dem Turbinenkreislaufstrom vereinigt werden.

[0028] Die Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich dabei, wie ebenfalls erwähnt, insbesondere dabei, wenn, wie in Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung der Fall, der Turbinenkreislaufstrom durch die Abkühlung und die Entspannung auf ein Temperaturniveau von 80 bis 100 K, insbesondere ca. 90 K, gebracht wird.

[0029] In Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung wird Fluid zusammen mit dem Turbinenkreislaufstrom geführt, das stromab der zweiten Erwärmung, stromauf und/oder stromab der Verdichtung und stromauf der Abkühlung in Form eines oder mehrerer Teilströme wieder abgezweigt und aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet. So können in vorteilhafter Weise Gase für bestimmte Zwecke bereitgestellt werden, und es kann auch ein Rektifikationskreislaufstrom gebildet werden, der in das Rektifikationskolonnensystem zurückgeführt wird.

[0030] Insbesondere kann der eine Teilstrom oder kann zumindest einer der mehreren Teilströme dabei zur Bereitstellung eines gasförmigen, druckbeaufschlagten Luftprodukts mit den gewünschten Spezifikationen verwendet werden.

[0031] In Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung kann der Turbinenkreislaufstrom stromab seiner Turbinenentspannung beispielsweise eine bestimmte Menge an Fluid pro Zeiteinheit umfassen, die hier auch als Turbinenkreislaufstrommenge bezeichnet wird. Das der Niederdruckkolonne pro Zeiteinheit entnommene Kopfgas, nachfolgend auch als Kopfgasmenge bezeichnet, kann beim 1,2-Fachen bis 3-Fachen der Turbinenkreislaufstrommenge liegen. Wie erwähnt, kann auch im Rahmen der vorliegenden Erfindung in einem Rektifikationskreislaufstrom Gas in die Rektifikationskolonnenanordnung zurückgespeist werden, dessen Menge hier auch als Rektifikationskreislaufstrommenge bezeichnet wird. Diese liegt typischerweise bei nicht mehr als dem 0,6-Fachen der Turbinenkreislaufstrommenge.

[0032] In dem Unterkühlungsgegenströmer wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere auch ein aus der zweiten Rektifikationskolonne ausgeleitetes Restgas erwärmt und/oder es werden eine oder mehrere, unter Verwendung von Kopfgas der ersten Rektifikationskolonne gebildete Flüssigkeiten und/oder Sumpfflüs-

sigkeit der ersten Rektifikationskolonne und/oder ein Argonprodukt unterkühlt. Auf diese Weise kann die Wärmebilanz in besonders vorteilhafter Weise ausgeglichen werden.

[0033] Es kann ferner eine deutliche Reduktion der Kreislaufmenge (aufgrund der erhöhten Dampfbeladung in der Druckkolonne) erzielt werden. Hierdurch ergeben sich deutliche Vorteile hinsichtlich des Energieverbrauchs, die beispielsweise bis zu 0,8% der gesamten Energieaufnahme der Anlage führen können.

[0034] In einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung kann die Verdichtung des Turbinenkreislaufstroms einen ersten Verdichtungsschritt und einen zweiten Verdichtungsschritt umfassen, wobei der zweite Verdichtungsschritt unter Verwendung eines Boosters durchgeführt der mit einer zur Durchführung der Entspannung verwendeten Entspannungsturbine mechanisch gekoppelt ist. Auf diese Weise kann die bei der Entspannung frei werdende mechanische Energie in besonders vorteilhafter Weise im Zuge der Verdichtung genutzt werden. Der erste Verdichtungsschritt kann insbesondere unter Verwendung eines ein- oder mehrstufigen Verdichters beliebiger Art durchgeführt werden.

[0035] In spezifischen Ausgestaltungen kann zwischen dem ersten und dem zweiten Verdichtungsschritt ein weiterer Verdichtungsschritt zwischengeschaltet sein, der insbesondere auch mit einem separaten, insbesondere einstufigen, Stickstoffverdichter durchgeführt werden kann. Hierdurch lässt sich insbesondere eine höhere Flüssigproduktion realisieren.

[0036] In einem Verfahren gemäß einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung kann insbesondere eine Restgasturbine verwendet werden. In dieser kann Restgas aus der zweiten Rektifikationskolonne, das unterhalb eines obersten Trennabschnitts derselben entnommen wird und gegenüber dem Kopfgas der zweiten Rektifikationskolonne deutlich sauerstoffreicher ist, abgezogen werden.

[0037] Die vorliegende Erfindung kann in bestimmten Ausgestaltungen, wie bereits angesprochen, insbesondere umfassen, dass die dritte Rektifikationskolonne alleine oder zusammen mit einer Reinargonkolonne zur Argongewinnung betrieben wird. Zur Argongewinnung sei auf die eingangs zitierte Fachliteratur verwiesen.

[0038] 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.

[0039] Durch die im Rahmen der vorliegenden Erfindung vorgeschlagenen Maßnahmen kann die in die erste Rektifikationskolonne eingespeiste Luft vollständig oder zu mehr als 90%, 95% oder 99% gasförmig sein, also auf eine Vorverflüssigung verzichtet werden.

[0040] Nachfolgend werden noch weitere Merkmale von erfindungsgemäßen und nicht erfindungsgemäßen Ausgestaltungen erläutert.

[0041] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann insbesondere deutlich mehr als 85%, beispielsweise ca. 90%, des Argons aus der zweiten Rektifikationskolonne in das Argongewinnungssystem, und damit die dritte Rektifikationskolonne, überführt und zur Gewinnung eines Argonprodukts werden. Bei Gewinnung von Argon kann eine Argonausbeute von ebenfalls mehr als 85%, beispielsweise ca. 90%, erzielt werden. Eine Ausbeute von mehr als 90% ist ebenfalls möglich.

[0042] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann in bestimmten Ausgestaltungen durch den Betrieb der ersten Rektifikationskolonne auf dem ersten Druckniveau auf eine Verdichtung eines Stickstoffprodukts verzichtet werden. Für einen Verdichter, der den Turbinenkreislaufstrom und ggf. weiteres Gas verdichtet, kann eine einfache Ausgestaltung, beispielsweise mit nur zwei Verdichtungsstufen, verwendet werden. Dieser Verdichter kann auch in Form eines sogenannten Kombiverdichters ausgestaltet werden, der beispielsweise auch vier Stufen umfasst, die die Funktion des Hauptluftverdichters erfüllen. Mit anderen Worten kann die Verdichtung der Druckluft und des zur Bildung des Turbinenkreislaufstroms verwendeten zweiten Kopfgases oder eines entsprechenden Teils hiervon unter Verwendung einer gemeinsam angetriebenen Verdichteranordnung durchgeführt werden.

[0043] Das Fluid, das zur Speisung der dritten Rektifikationskolonne aus der zweiten Rektifikationskolonne entnommen wird, kann in einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung, wie bereits erwähnt, in eine weitere, Rektifikationskolonne eingespeist werden, und ein entsprechender Einsatzstrom kann unter Verwendung von Fluid gebildet werden, das aus dieser weiteren Rektifikationskolonne entnommen wird. Die weitere Rektifikationskolonne ist insbesondere zur Bildung eines Hochreinsauerstoffprodukts eingerichtet und wird wie nachfolgend erläutert betrieben.

[0044] Die weitere Rektifikationskolonne weist insbesondere einen ersten (oberen) Teil und einen zweiten (unteren) Teil auf, wobei zwischen dem ersten und dem zweiten Teil ein "Sperrböden"-Rektifikationsabschnitt, der insbesondere zur Zurückhaltung von Kohlenwasserstoffen dient, angeordnet ist. Insbesondere kann der erste Teil der weiteren Rektifikationskolonne funktional als unterster Teil einer Rohargonkolonne ausgebildet und entsprechend mit der eigentlichen Rohargonkolonne, also der dritten Rektifikationskolonne, gekoppelt sein. Eine entsprechende Ausgestaltung wird insbesondere aus Bauraumgründen vorgenommen, um die Gesamtbauhöhe der Luftzerlegungsanlage zu reduzieren. Das Fluid,

das aus der zweiten Rektifikationskolonne entnommen und unter Verwendung dessen die dritte Rektifikationskolonne gespeist wird, wird in einen unteren Bereich des ersten Teils eingespeist. Gas wird aus einem oberen Bereich des ersten Teils entnommen und zur Speisung der dritten Rektifikationskolonne verwendet. In der dritten Rektifikationskolonne gebildete Sumpfflüssigkeit wird zumindest teilweise in den oberen Bereich des ersten Teils überführt.

[0045] Flüssigkeit wird aus einem Zwischenbereich des ersten Teils entnommen und in einen oberen Bereich des zweiten Teils eingespeist, in dem die eigentliche Reinsauerstoffgewinnung stattfindet. Gas wird aus dem oberen Bereich des zweiten Teils entnommen und in den Zwischenbereich des ersten Teils eingespeist, und in einem unteren Bereich des zweiten Teils Reinsauerstoff gebildet und aus der Luftzerlegungsanlage ausgeleitet. Der Reinsauerstoff kann insbesondere mit einem Restgehalt von 5 bis 500 ppb, beispielsweise ca. 10 ppb, Argon gebildet werden.

[0046] Ist keine entsprechende weitere oder weitere zweigeteilte Kolonne vorhanden, kann das Fluid aus der zweiten Rektifikationskolonne auch direkt in die dritte Rektifikationskolonne, also eine Rohargonkolonne, eingespeist werden.

[0047] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann der untere Bereich des zweiten Teils der soeben beschriebenen weiteren Rektifikationskolonne insbesondere unter Verwendung eines Kondensatorverdampfers beheizt werden, in dem ein Teil des Kopfgases der ersten Rektifikationskolonne als Heizfluid verwendet wird. Der als Heizfluid verwendete Teil des Kopfgases der ersten Rektifikationskolonne kann danach insbesondere in verflüssigtem Zustand in die erste Rektifikationskolonne oder in die zweite Rektifikationskolonne eingespeist werden.

[0048] Die Sumpfflüssigkeit der ersten Rektifikationskolonne oder zumindest deren Teil, der zur Speisung der zweiten Rektifikationskolonne verwendet wird, kann, wie mehrfach erwähnt, zur Kondensation von Kopfgas zumindest der dritten Rektifikationskolonne verwendet werden. Dieses Kopfgas kann insbesondere, wie an sich aus dem Stand der Technik bekannt, in einer Reinargonkolonne zu Reinargon aufgereinigt werden.

[0049] 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.

[0050] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert, die die bevorzugten Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung veranschaulichen.

Figurenbeschreibung

[0051] Die Figuren 1 bis 3 veranschaulichen Luftzerlegungsanlagen gemäß unterschiedlicher Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung.

[0052] 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.

[0053] In Figur 1 ist eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung in Form eines vereinfachten Prozessflussdiagramms veranschaulicht und insgesamt mit 100 bezeichnet.

[0054] 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.

[0055] 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"), eine zweigeteilte Rohargonkolonne 13 ("dritte Rektifikationskolonne") mit zwei Kolonnenteilen 13a (oberer Teil) und 13b (unterer Teil) sowie eine Reinargonkolonne 14 auf. 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.

[0056] 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.

[0057] 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.

[0058] 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.

[0059] 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.

[0060] 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 Hauptwär-

metauscher 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.

[0061] 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.

[0062] 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 15 wird ein Reinargonstrom v abgezogen, der, insbesondere nach Unterkühlung in dem Unterkühlungsgegenströmer 18, nun mit w bezeichnet, teils in einem Tank T eingespeichert bzw. zwischengespeichert, beispielsweise durch Druckaufbauverdampfung druckerhöht und nach Erwärmung in dem Hauptwärmetauscher 4 mit einem Gehalt von beispielsweise ca. 200 ppb Sauerstoff bereitgestellt werden kann.

[0063] 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.

[0064] 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.

[0065] Mit einer gestrichelten Linie ist ein temperaturisolierter Bereich veranschaulicht, dessen Enthalpiebilanz durch den Einsatz der gemäß der veranschaulichten Ausgestaltung vorgeschlagenen Maßnahmen im Wesentlichen geschlossen ist.

[0066] In Figur 2 ist eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung in Form eines vereinfachten Prozessflussdiagramms veranschaulicht und insgesamt mit 200 bezeichnet.

[0067] Die in Figur 2 veranschaulichte Luftzerlegungsanlage 200 weist im Gegensatz zur Luftzerlegungsanlage 100 gemäß Figur 1 eine einteilige Rohargonkolonne 13 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. Ferner ist hier ein Flüssigargon-tanksystem T3 dargestellt.

[0068] In Figur 3 ist eine Luftzerlegungsanlage gemäß einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung in Form eines vereinfachten Prozessflussdiagramms veranschaulicht und insgesamt mit 300 bezeichnet.

[0069] 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.

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 erste Rektifikationskolonne (11), eine zweite Rektifikationskolonne (12) und eine dritte Rektifikationskolonne (13) aufweist, bei dem

- die erste Rektifikationskolonne (11) auf einem ersten Druckniveau betrieben und unter Verwendung von in dem Hauptwärmetauscher (4) abgekühlter, gasförmiger Druckluft gespeist wird,

- die zweite Rektifikationskolonne (12) auf einem zweiten Druckniveau betrieben und unter Verwendung von Sumpfflüssigkeit der ersten Rektifikationskolonne (11) gespeist wird,
 - die dritte Rektifikationskolonne (13) auf einem dritten Druckniveau betrieben und unter Verwendung von Fluid gespeist wird, das aus der zweiten Rektifikationskolonne (12) entnommen wird,
 - das erste Druckniveau bei 9 bis 14,5 bar am Kopf der ersten Rektifikationskolonne (11) liegt und das zweite Druckniveau bei 2 bis 5 bar am Kopf der zweiten Rektifikationskolonne (12) liegt, und
 - Kopfgas der zweiten Rektifikationskolonne (12) mit einem Turbinenkreislaufstrom vereinigt wird, der zyklisch und nacheinander einer ersten Erwärmung in dem Unterkühlungsgegenströmer (18), einer zweiten Erwärmung in dem Hauptwärmetauscher (4), einer Verdichtung, einer Abkühlung und einer Entspannung unterworfen wird,
- dadurch gekennzeichnet, dass**
- das mit dem Turbinenkreislaufstrom vereinigte Kopfgas der zweiten Rektifikationskolonne (12) teilweise oder vollständig stromab der Entspannung und stromauf der ersten Erwärmung des Turbinenkreislaufstroms mit dem Turbinenkreislaufstrom vereinigt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Vereinigen des Kopfgases mit dem Turbinenkreislaufstrom in einem oberen Bereich und innerhalb der zweiten Rektifikationskolonne (12) erfolgt.
 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, bei dem das mit dem Turbinenkreislaufstrom vereinigte Kopfgas der zweiten Rektifikationskolonne (12) teilweise oder vollständig stromab der Entspannung und anschließend jeweils zu Anteilen stromauf und stromab der ersten Erwärmung mit dem Turbinenkreislaufstrom vereinigt wird.
 4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Turbinenkreislaufstrom durch die Abkühlung und die Entspannung auf ein Temperaturniveau von 80 bis 100 K gebracht wird.
 5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem Fluid zusammen mit dem Turbinenkreislaufstrom geführt und stromab der zweiten Erwärmung, stromauf und/oder stromab der Verdichtung und stromauf der Abkühlung in Form eines oder mehrerer Teilströme hiervon wieder abgezweigt und aus der Luftzerlegungsanlage (100-300) ausgeleitet wird.
 6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem der eine Teil-
- strom oder zumindest einer der mehreren Teilströme zur Bereitstellung eines gasförmigen, druckbeaufschlagten Luftprodukts verwendet wird.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem in dem Unterkühlungsgegenströmer (18) ein aus der zweiten Rektifikationskolonne (12) ausgeleitetes Restgas erwärmt und/oder eine oder mehrere, unter Verwendung von Kopfgas der ersten Rektifikationskolonne (11) gebildete Flüssigkeiten und/oder Sumpfflüssigkeit der ersten Rektifikationskolonne (11) und/oder ein Argonprodukt unterkühlt werden.
 8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Verdichtung des Turbinenkreislaufstroms einen ersten Verdichtungsschritt und einen zweiten Verdichtungsschritt umfasst, wobei der zweite Verdichtungsschritt unter Verwendung eines Boosters durchgeführt der mit einer zur Durchführung der Entspannung verwendeten Entspannungsturbine mechanisch gekoppelt ist.
 9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem eine Restgasturbine (9) verwendet wird.
 10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die dritte Rektifikationskolonne (13) alleine oder zusammen mit einer Reinargonkolonne zur Argongewinnung betrieben wird.
 11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem eine weitere Rektifikationskolonne (17) zur Gewinnung eines Sauerstoffprodukts und/oder eine weitere Rektifikationskolonne (15) zur Gewinnung eines Krypton/Xenon-Rohgemischs und/oder eine weitere Rektifikationskolonne (16) zur Gewinnung eines Helium/Neon-Rohgemischs verwendet wird oder werden.
 12. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem die in die erste Rektifikationskolonne (11) eingespeiste Luft vollständig oder zu mehr als 90%, 95% oder 99% gasförmig ist.
 13. Luftzerlegungsanlage (100-300) mit einem Hauptwärmetauscher (4) und einen Unterkühlungsgegenströmer (18) sowie einem Rektifikationskolonnensystem (10), das eine erste Rektifikationskolonne (11), eine zweite Rektifikationskolonne (12) und eine dritte Rektifikationskolonne (13) aufweist, und die dafür eingerichtet ist,
 - die erste Rektifikationskolonne (11) auf einem ersten Druckniveau zu betreiben und unter Verwendung von in dem Hauptwärmetauscher (4) abgekühlter Druckluft zu speisen,
 - die zweite Rektifikationskolonne (12) auf ei-

nem zweiten Druckniveau zu betreiben und unter Verwendung von Sumpfflüssigkeit der ersten Rektifikationskolonne (11) zu speisen,

- die dritte Rektifikationskolonne (13) auf einem dritten Druckniveau zu betreiben und unter Verwendung von Fluid aus der zweiten Rektifikationskolonne (12) zu speisen, 5

- das erste Druckniveau bei 9 bis 14,5 bar am Kopf der ersten Rektifikationskolonne (11) liegt und das zweite Druckniveau bei 2 bis 5 bar am Kopf der zweiten Rektifikationskolonne (12) liegt, und 10

- Kopfgas der zweiten Rektifikationskolonne (12) mit einem Turbinenkreislaufstrom zu vereinigen sowie den Turbinenkreislaufstrom zyklisch und jeweils nacheinander einer ersten Erwärmung in dem Unterkühlungsgegenströmer (18), einer zweiten Erwärmung in dem Hauptwärmetauscher (4), einer Verdichtung, einer Abkühlung und einer Entspannung zu unterwerfen, 15 20

dadurch gekennzeichnet, dass

- die Luftzerlegungsanlage (100) dafür eingerichtet ist, das mit dem Turbinenkreislaufstrom vereinigte Kopfgas der zweiten Rektifikationskolonne teilweise oder vollständig stromab der Entspannung und stromauf der ersten Erwärmung mit dem Turbinenkreislaufstrom zu vereinigen. 25

14. Luftzerlegungsanlage (100-300) nach Anspruch 13, die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12 eingerichtet ist. 30

35

40

45

50

55

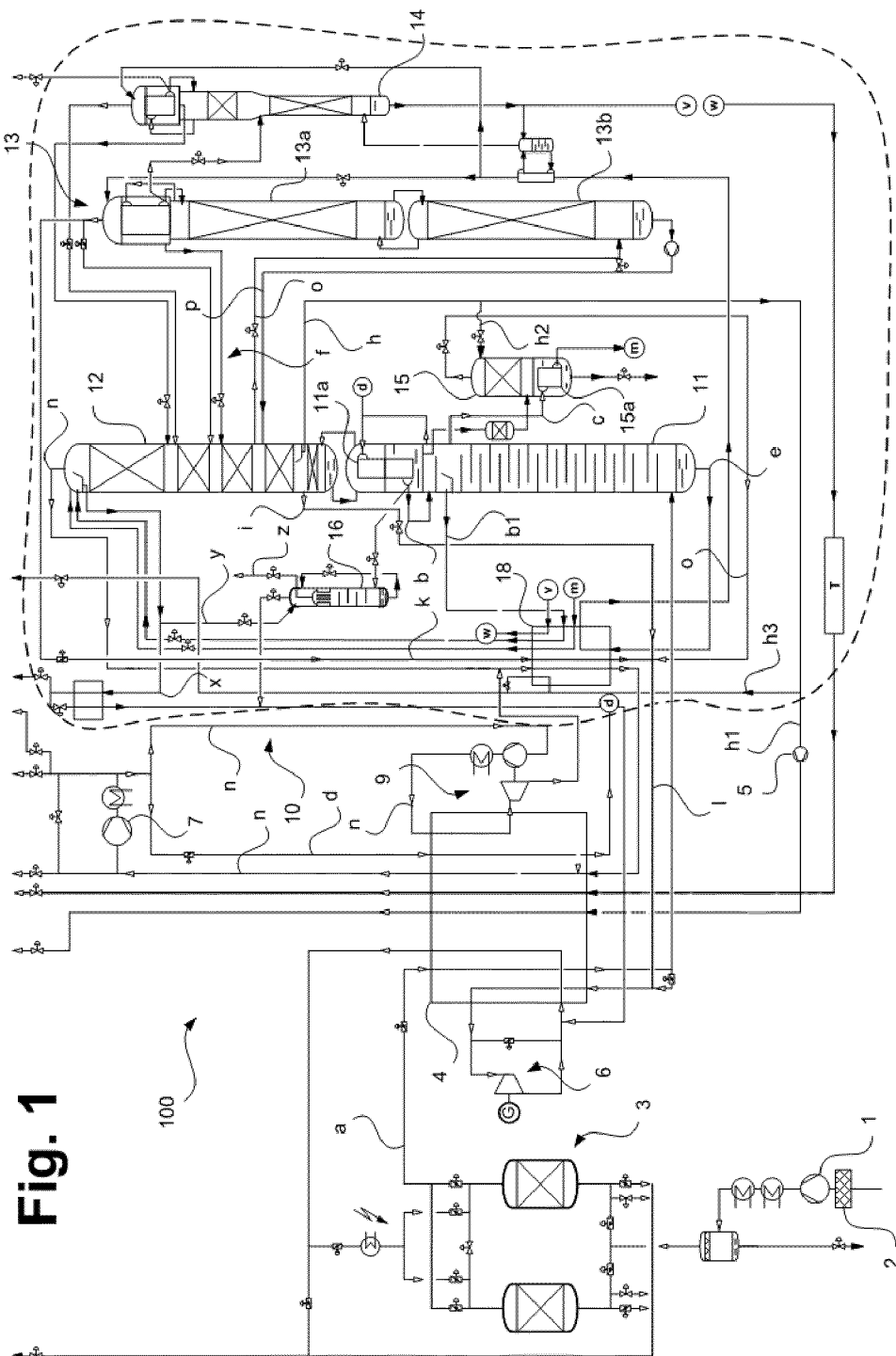
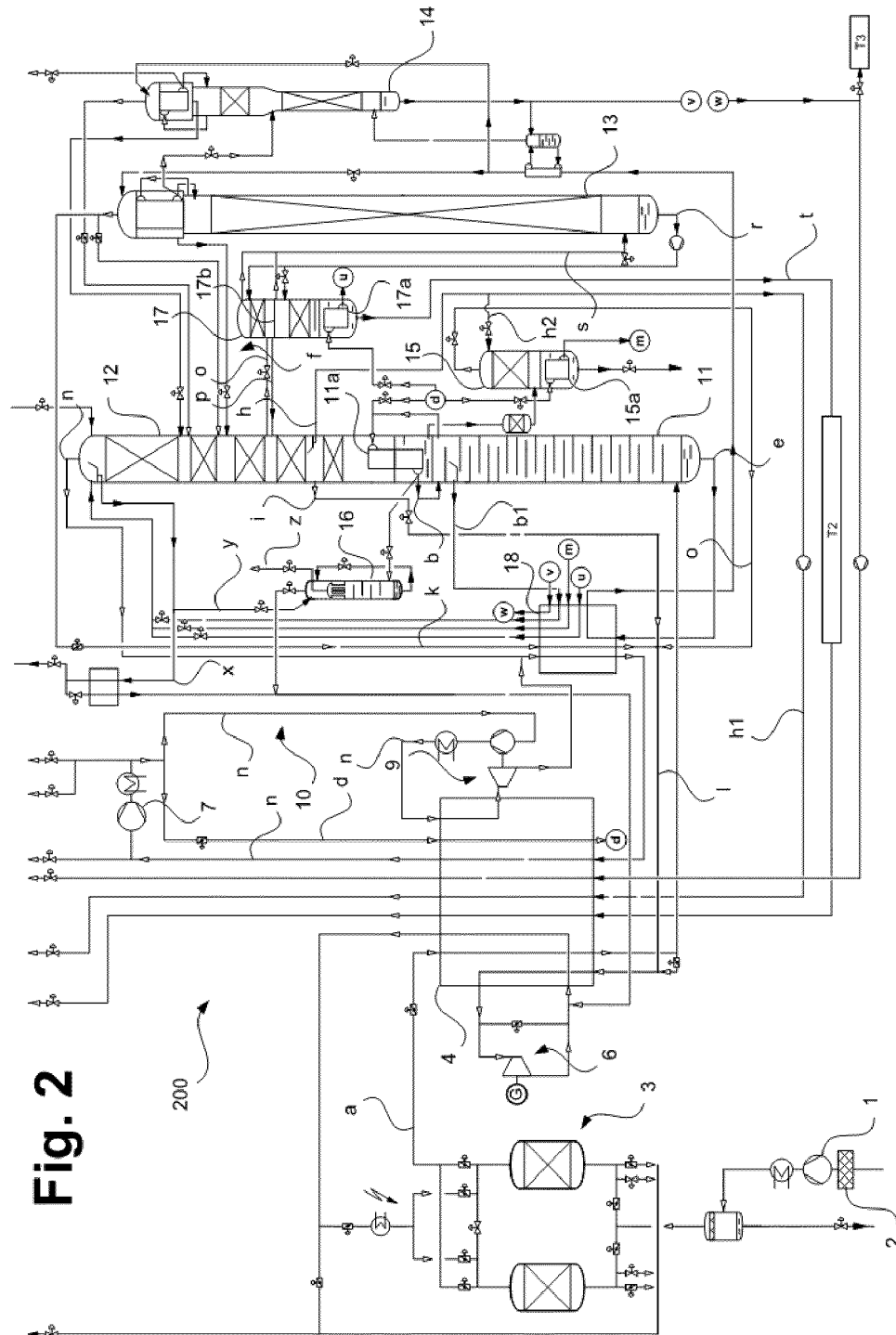
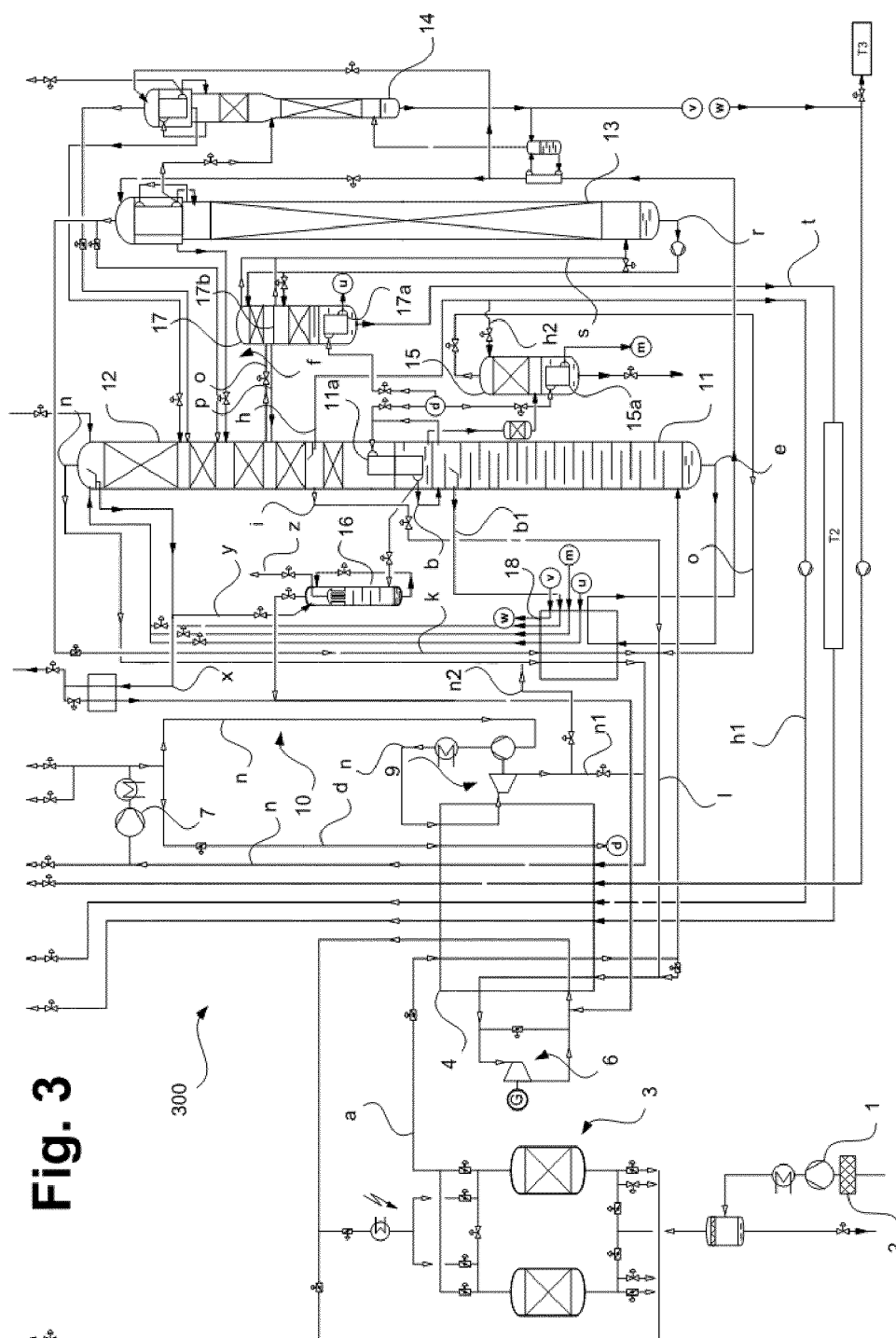


Fig. 1







EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 02 0148

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

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	CN 102 141 337 B (SUZHOU XINGLU AIR SEPARATION PLANT SCIENCE & TECHNOLOGY DEV CO LTD) 1. Mai 2013 (2013-05-01) * Abbildung 3 *	1-14	INV. F25J1/00
Y	US 2021/356206 A1 (KROMER BRIAN R [US] ET AL) 18. November 2021 (2021-11-18) * Absatz [0023]; Abbildung 1 *	1-14	
A	CN 100 400 995 C (SUZHOU XINGLU AIR SEPARATION P [CN]) 9. Juli 2008 (2008-07-09) * Abbildung 1 *	1-14	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F25J
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 18. September 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 : 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	

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

EP 23 02 0148

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

18-09-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
CN 102141337 B	01-05-2013	KEINE	
US 2021356206 A1	18-11-2021	CN 115485519 A	16-12-2022
		EP 4150276 A1	22-03-2023
		KR 20230008859 A	16-01-2023
		US 2021356206 A1	18-11-2021
		US 2023055084 A1	23-02-2023
		US 2023221069 A1	13-07-2023
		WO 2021230911 A1	18-11-2021
CN 100400995 C	09-07-2008	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

- WO 2021204424 A2 [0003] [0012]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

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