



(11)

EP 2 963 369 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**06.01.2016 Patentblatt 2016/01**

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

(21) Anmeldenummer: **15001881.0**(22) Anmeldetag: **25.06.2015**

(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:  
**MA**

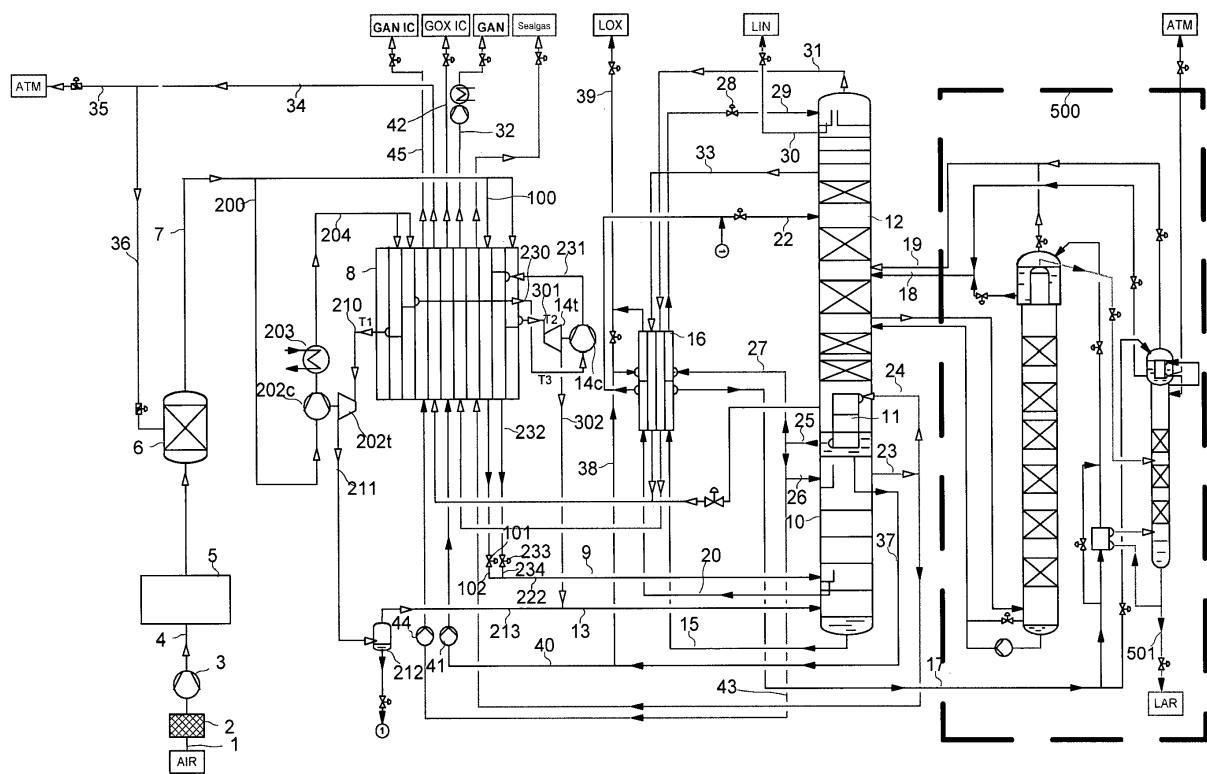
(30) Priorität: **05.07.2014 EP 14002310**

(71) Anmelder: **Linde Aktiengesellschaft  
80331 München (DE)**  
 (72) Erfinder: **Goloubev, Dimitri  
80804 München (DE)**  
 (74) Vertreter: **Imhof, Dietmar  
Linde AG  
Legal Services Intellectual Property  
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14  
82049 Pullach (DE)**

## (54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR TIEFTEMPERATURZERLEGUNG VON LUFT

(57) Das Verfahren und die Vorrichtung dienen zur Tieftemperaturzerlegung von Luft in einer Luftzerlegerungsanlage, die einen Hauptluftverdichter, einen Hauptwärmetauscher (8) und ein Destillationssäulen-System mit einer Hochdrucksäule (10) und einer Niederdrucksäule aufweist. Die gesamte Einsatzluft (1) wird in dem Hauptluftverdichter (3) auf einen ersten Luftdruck verdichtet, der mindestens 3 bar höher als der Betriebsdruck der Hochdrucksäule ist. Ein erster Teil des verdichtenen Gesamtluftstroms wird als erster Luftstrom (100) unter dem ersten Luftdruck in dem Hauptwärmetauscher (8) abgekühlt und verflüssigt oder pseudo-verflüssigt, anschließend entspannt (101) und in das Destillationssäulen-System eingeleitet (102, 9). Ein zweiter Teil des verdichtenen Gesamtluftstroms wird als zweiter Luftstrom (200) in einem turbinengetriebenen Nachverdichter (202c) auf einen zweiten Luftdruck nachverdichtet. Ein erster Teilstrom des zweiten Luftstroms wird als dritter Luftstrom (210) unter dem zweiten Luftdruck und unter einer ersten Temperatur (T1) in eine erste Turbine (202t) eingeleitet, dort arbeitsleistend entspannt und anschließend in das Destillationssäulen-System eingeleitet (211, 213, 22), wobei die erste Turbine (202t) den ersten turbinengetriebenen Nachverdichter (202c) antreibt. Min-

destens zeitweise wird mindestens ein Flüssigprodukt (30; 39; LAR) in dem Destillationssäulen-System gewonnen und aus der Luftzerlegungsanlage abgezogen. Ein erster Produktstrom (37; 43) wird flüssig aus dem Destillationssäulen-System abgezogen, in flüssigem Zustand auf einen ersten erhöhten Produktdruck gebracht (41; 44), in dem Hauptwärmetauscher (8) verdampft oder pseudo-verdampft und angewärmt und anschließend als erstes Druckgasprodukt gewonnen. Mindestens zeitweise wird ein zweiter Teilstrom des zweiten Luftstroms als vierter Luftstrom (230) in dem Hauptwärmetauscher (8) in einem Kaltverdichter (14c) auf einen dritten Luftdruck weiterverdichtet, in dem Hauptwärmetauscher (8) abgekühlt und verflüssigt oder pseudo-verflüssigt, anschließend entspannt (233) und in das Destillationssäulen-System eingeleitet (234, 9). Der vierte Luftstrom (230), der durch den Kaltverdichter (14c) strömt, mindestens eine der folgenden Eigenschaften aufweist:  
 - seine Menge ist im zweiten Betriebsmodus größer als im zweiten Betriebsmodus  
 - sein Druck am Austritt des Kaltverdichters ist im zweiten Betriebsmodus höher als im ersten Betriebsmodus.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft, bei dem sowohl mindestens ein Flüssigprodukt als auch mindestens ein innenverdichtetes Produkt gewonnen wird, wobei zwei Luftpumpen eingesetzt werden, die zwei Nachverdichter antreiben, von denen einer als Kaltverdichter ausgebildet ist. Ein derartiges Verfahren ist aus US 2009078001 A1 bekannt.

**[0002]** Unter einem "Hauptluftverdichter" wird hier eine mehrstufige Maschine verstanden, deren Stufen einen gemeinsamen Antrieb (Elektromotor, Dampfturbine oder Gasturbine) aufweisen und in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet sind. Er kann zum Beispiel durch einen Getriebeverdichter gebildet werden, bei welchem die Stufen um das Getriebegehäuse herum gruppiert sind. Dieses Getriebe besitzt ein Großrad welches mehrere parallele Ritzelwellen mit jeweils einer oder zwei Stufen antreibt.

**[0003]** Verfahren und Vorrichtungen zur Tieftemperaturzerlegung von Luft sind zum Beispiel aus Hausen/Linde, Tieftemperaturtechnik, 2. Auflage 1985, Kapitel 4 (Seiten 281 bis 337) bekannt.

**[0004]** Das Destillationssäulen-System der Erfindung kann als Zwei-Säulen-System (zum Beispiel als klassisches Linde-Doppelsäulensystem), oder auch als Dreier- oder Mehr-Säulen-System. Es kann zusätzlich zu den Kolonnen zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung weitere Vorrichtungen zur Gewinnung hochreiner Produkte und/oder anderer Luftkomponenten, insbesondere von Edelgasen aufweisen, beispielsweise eine Argongewinnung und/oder eine Krypton-Xenon-Gewinnung.

**[0005]** Bei dem Prozess wird ein flüssig auf Druck gebrachter erster Produktstrom im Hauptwärmetauscher verdampft und schließlich als gasförmiges Druckprodukt gewonnen. Diese Methode wird auch als Innenverdichtung bezeichnet. Für den Fall eines überkritischen Drucks findet kein Phasenübergang im eigentlichen Sinne statt, der Produktstrom wird dann "pseudo-verdampft".

**[0006]** Gegen den (pseudo-)verdampfenden Produktstrom wird ein unter hohem Druck stehender Wärmeträger verflüssigt (beziehungsweise pseudo-verflüssigt, wenn er unter überkritischem Druck steht). Der Wärmeträger wird häufig durch einen Teil der Luft gebildet, im vorliegenden Fall insbesondere durch den ersten und den vierten Luftstrom.

**[0007]** Innenverdichtungsverfahren sind zum Beispiel bekannt aus DE 830805, DE 901542 (= US 2712738/US 2784572), DE 952908, DE 1103363 (= US 3083544), DE 1112997 (= US 3214925), DE 1124529, DE 1117616 (= US 3280574), DE 1226616 (= US 3216206), DE 1229561 (= US 3222878), DE 1199293, DE 1187248 (= US 3371496), DE 1235347, DE 1258882 (= US 3426543), DE 1263037 (= US 3401531), DE 1501722 (= US 3416323), DE 1501723 (= US 3500651), DE 253132 (= US 4279631), DE 2646690, EP 93448 B1 (= US

4555256), EP 384483 B1 (= US 5036672), EP 505812 B1 (= US 5263328), EP 716280 B1 (= US 5644934), EP 842385 B1 (= US 5953937), EP 758733 B1 (= US 5845517), EP 895045 B1 (= US 6038885), DE 19803437 5 A1, EP 949471 B1 (= US 6185960 B1), EP 955509 A1 (= US 6196022 B1), EP 1031804 A1 (= US 6314755), DE 19909744 A1, EP 1067345 A1 (= US 6336345), EP 1074805 A1 (= US 6332337), DE 19954593 A1, EP 1134525 A1 (= US 6477860), DE 10013073 A1, EP 1139046 A1, EP 1146301 A1, EP 1150082 A1, EP 1213552 A1, DE 10115258 A1, EP 1284404 A1 (= US 2003051504 A1), EP 1308680 A1 (= US 6612129 B2), DE 10213212 A1, DE 10213211 A1, EP 1357342 A1 oder DE 10238282 A1 DE 10302389 A1, DE 10334559 15 A1, DE 10334560 A1, DE 10332863 A1, EP 1544559 A1, EP 1585926 A1, DE 102005029274 A1 EP 1666824 A1, EP 1672301 A1, DE 102005028012 A1, WO 2007033838 A1, WO 2007104449 A1, EP 1845324 A1, DE 102006032731 A1, EP 1892490 A1, DE 20 102007014643 A1, A1, EP 2015012 A2, EP 2015013 A2, EP 2026024 A1, WO 2009095188 A2 oder DE 102008016355 A1.

**[0008]** In dieser Anmeldung werden mehrfach Prozessparameter wie Mengenströme oder Drücke beschrieben, die in einem Betriebsmodus "kleiner" oder "größer" als in einem anderen Betriebsmodus sind. Damit sind hier gezielte Veränderungen des entsprechenden Parameters durch Regel- und/oder Stelleinrichtungen gemeint und nicht natürliche Schwankungen innerhalb eines stationären Betriebszustands. Diese gezielten Veränderungen können direkt durch Einstellung des Parameters selbst bewirkt werden oder indirekt durch Einstellung anderer Parameter, die Einfluss auf den zu verändernden Parameter haben. Insbesondere ist ein Parameter dann "größer" beziehungsweise "kleiner", wenn der Unterschied zwischen den Mittelwerten des Parameters in den verschiedenen Betriebsmodi mehr als 2 %, insbesondere mehr als 5 %, insbesondere mehr als 10 % beträgt.

**[0009]** Bei den Druckangaben werden hier die natürlichen Druckverluste in der Regel nicht einbezogen. Drücke werden hier als "gleich" gewertet, wenn der Druckunterschied zwischen den entsprechenden Stellen nicht größer als die natürlichen Leitungsverluste sind, die durch Druckverluste in Rohrleitungen, Wärmetauschern, Kühlern, Adsorbern etc. verursacht werden. Zum Beispiel erfährt der erste Produktstrom einen Druckverlust in den Passagen des Hauptwärmetauschers; trotzdem werden hier der Abgabedruck des Druckgasprodukts 45 stromabwärts des Hauptwärmetauschers und der Druck stromaufwärts des Hauptwärmetauschers gleichermaßen als "der erste Produktdruck" bezeichnet. Umgekehrt ist der zweite Druck eines Stroms stromabwärts gewisser Verfahrensschritte nur dann "niedriger" oder "höher" als der erste Druck stromaufwärts dieser Schritte, wenn die entsprechende Druckdifferenz höher als die natürlichen Leitungsverluste ist, also insbesondere die Druckerhöhung durch mindestens eine Verdichterstufe bezie-

hungswise die Druckverminderung gezielt durch mindestens ein Drosselventil und/oder mindestens eine Entspannungsmaschine (Expansionsturbine) erfolgt.

**[0010]** Der "Hauptwärmetauscher" dient zur Abkühlung von Einsatzluft in indirektem Wärmeaustausch mit Rückströmen aus dem Destillationssäulen-System. Er kann aus einem einzelnen oder mehreren parallel und/oder seriell verbundenen Wärmetauscherabschnitten gebildet sein, zum Beispiel aus einem oder mehreren Plattenwärmetauscher-Blöcken.

**[0011]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art und eine Vorrichtung anzugeben, die mit stark variierendem Flüssigproduktanteil gefahren werden kann. Zum "Flüssigproduktanteil" zählen dabei nur Ströme, welche die Luftzerlegungsanlage flüssig verlassen und beispielsweise in einen Flüssigtank eingeleitet werden, nicht aber innenverdichtete Ströme, die zwar dem Destillationssäulen-System flüssig entnommen, aber innerhalb der Luftzerlegungsanlage verdampft oder pseudo-verdampft und schließlich in gasförmigem Zustand aus der Luftzerlegungsanlage herausgeführt werden.

**[0012]** Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst.

**[0013]** Bei der Erfindung ist der "erste Betriebsmodus" für eine besonders hohe Flüssigproduktion, insbesondere für maximale Flüssigproduktion (Gesamtmenge an Flüssigprodukten, die aus der Luftzerlegungsanlage abgezogen wird) ausgelegt. Der "zweite Betriebsmodus" ist demgegenüber für einen geringeren Flüssigproduktanteil ausgelegt, der zum Beispiel auch null sein kann (reiner Gasbetrieb). Die Gesamtmenge an Flüssigprodukten beträgt im zweiten Betriebsmodus beispielsweise 0 %, oder liegt etwas höher, zum Beispiel zwischen 50% und 100% der maximalen Flüssigproduktmenge. (Alle Prozentangaben beziehen sich hier und im Folgenden auf die molare Menge, soweit nichts anderes angegeben ist. Die molare Menge kann beispielsweise in Nm<sup>3</sup>/h angegeben werden.)

**[0014]** Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird ein turbinengetriebener Kaltverdichter eingesetzt, der im ersten Betriebsmodus mit niedrigerer Last gefahren wird als im zweiten. Es erscheint auf den ersten Blick nicht zielführend, in dem Betrieb mit maximaler Flüssigproduktion Turbinen mit weniger Durchsatz zu betreiben, da Turbinen grundsätzlich zur Produktion der Kälte für die Produktverflüssigung eingesetzt werden können. Im Rahmen der Erfindung hat es sich jedoch herausgestellt, dass durch diese Maßnahme eine besonders starke Variation der Flüssigproduktmenge möglich ist, wobei in beiden Betriebsmodi ein zufriedenstellender Wirkungsgrad erreicht wird, also insgesamt ein vergleichsweise geringer Energieverbrauch.

**[0015]** Unter einem "Kaltverdichter" wird hier ein Verdichtungsorgan verstanden, bei dem das Gas der Verdichtung bei einer Temperatur zugeführt wird, die deutlich unterhalb der Umgebungstemperatur liegt, im allgemeinen unterhalb von 250 K, vorzugsweise unterhalb

von 200 K.

**[0016]** Der Kaltverdichter kann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren durch einen Elektromotor angetrieben werden. In vielen Fällen ist es jedoch günstig, eine Turbinen-Kaltverdichter-Kombination einzusetzen, wie es im Patentanspruch 2 beschrieben ist. Die Luftmenge, die als fünfter Luftstrom durch die zweite Turbine geht, die den Kaltverdichter antreibt, ist in dem ersten Betriebsmodus geringer als im zweiten Betriebsmodus. In einem extremen Beispiel ist die Turbinen-Kaltverdichter-Kombination im ersten Betriebsmodus vollständig außer Betrieb, also die entsprechende Luftmenge gleich Null.

**[0017]** Der Eintrittsdruck der zweiten Turbine kann etwa gleich dem Eintrittsdruck der ersten Turbine sein; vorzugsweise sind die beiden Eintrittsdrücke aber verschieden. Insbesondere kann der Eintrittsdruck der zweiten Turbine niedriger als derjenige der ersten Turbine sein und zum Beispiel gleich dem ersten Luftdruck sein.

**[0018]** Es ist günstig, wenn im ersten Betriebsmodus nur ein relativ kleiner Teil der Einsatzluft auf den dritten, höheren Luftdruck verdichtet wird, wie es in Patentanspruch 3 beschrieben wird. Der dritte Luftdruck kann außerdem im zweiten Betriebsmodus höher liegen als beim ersten Betriebsmodus.

**[0019]** In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird der dritte Luftstrom in der ersten Turbine auf einen Austrittsdruck entspannt wird, der gleich dem Betriebsdruck der Hochdrucksäule (plus Leitungsverlusten) ist.

**[0020]** Der Austrittsdruck der zweiten Turbine kann ebenfalls gleich dem Betriebsdruck der Hochdrucksäule (plus Leitungsverlusten) sein oder auch niedriger liegen, zum Beispiel beim Betriebsdruck der Niederdrucksäule (plus Leitungsverlusten), siehe Patentansprüche 5 und 6. Der dritte Teilstrom wird dann beispielsweise in die Niederdrucksäule eingeleitet.

**[0021]** Ansonsten können die entspannten Teilströme zum Teil oder vollständig in die Hochdrucksäule eingeleitet werden, wie es die Patentansprüche 7 und 8 erläutern.

**[0022]** Wie in Patentanspruch 9 erläutert, kann in Verfahren mehr als ein Innenverdichtungsprodukt erzeugt werden, auch mehr als zwei Innenverdichtungsprodukte. Die verschiedenen Innenverdichtungsprodukte können sich in ihrer chemischen Zusammensetzung unterscheiden (zum Beispiel Sauerstoff/Stickstoff oder auch Sauerstoff oder Stickstoff verschiedener Reinheit) oder in ihrem Druck oder in beidem.

**[0023]** Die Erfindung betrifft außerdem eine Luftzerlegungsanlage in Form einer Vorrichtung gemäß Patentanspruch 10. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann durch Vorrichtungsmerkmale ergänzt werden, die den Merkmalen der abhängigen Verfahrensansprüche entsprechen.

**[0024]** Bei den "Mitteln zum Umschalten zwischen einem ersten und einem zweiten Betriebsmodus" handelt es sich um komplexe Regel- und Steuerungsvorrichtungen, die im Zusammenwirken ein mindestens teilweise

automatisches Umschalten zwischen den beiden Betriebsmodi ermöglichen, beispielsweise um ein entsprechend programmiertes Betriebsleitsystem.

**[0025]** Die Erfindung sowie weitere Einzelheiten der Erfindung werden im Folgenden anhand eines in der Zeichnung schematisch dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

**[0026]** Das Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im Folgenden zunächst anhand des ersten Betriebsmodus erläutert, der hier auf maximale Flüssigproduktion ausgelegt ist. Atmosphärische Luft 1 (AIR) wird über ein Filter 2 von einem Hauptluftverdichter 3 angesaugt und auf einen ersten Luftdruck von beispielsweise 22 bar verdichtet. Stromabwärts des Hauptluftverdichters 3 wird die verdichtete Gesamtluft 4 unter dem ersten Luftdruck in einer Vorkühleinrichtung 5 und anschließend in einer Reinigungseinrichtung 6 behandelt. Die gereinigte Gesamtluft 7 wird in einen ersten Luftstrom 100 und einen zweiten Luftstrom 200 aufgeteilt.

**[0027]** Der erste Luftstrom 100 wird in einem Hauptwärmetauscher 8 vom warmen bis zum kalten Ende abgekühlt und dabei (pseudo-)verflüssigt und anschließend in einem Drosselventil 101 auf etwa den Betriebsdruck der später erläuterten Hochdrucksäule entspannt, der vorzugsweise 5 bar bis 7 bar, beispielsweise 6 bar beträgt. Der entspannte erste Luftstrom 102 wird über Leitung 9 dem Destillationssäulen-System zugeführt, das eine Hochdrucksäule 10, einen Hauptkondensator 11, der als Kondensator-Verdampfer ausgebildet ist, und eine Niederdrucksäule 12 aufweist.

**[0028]** Der zweite Luftstrom 200 wird in einem ersten turbinengetriebenen Nachverdichter 202c mit Nachkühler 203 auf einen zweiten Luftdruck von beispielsweise 28 bar nachverdichtet. Der reichverdichtete zweite Luftstrom 204 wird in einen dritten Luftstrom 210 und einen vierten Luftstrom 230 aufgeteilt.

**[0029]** Der dritte Luftstrom 210 wird dem Hauptwärmetauscher 8 am warmen Ende zugeführt und bei einer ersten Zwischentemperatur T1 wieder entnommen. Unter dieser Zwischentemperatur und dem zweiten Luftdruck wird der dritte Luftstrom einer ersten Turbine 202t zugeführt und dort arbeitsleistend auf den Betriebsdruck der Hochdrucksäule 10 entspannt, der 5 bar bis 7 bar, beispielweise 6 bar beträgt. Die erste Turbine 202t ist mechanisch mit dem ersten Nachverdichter 202c gekoppelt. Der arbeitsleistend entspannte dritte Luftstrom 211 wird in einem Abscheider (Phasentrenner) 212 eingeleitet und dort von einem geringen Flüssiganteil befreit. Anschließend strömt er rein gasförmig über die Leitungen 213 und 13 zum Sumpf der Hochdrucksäule 10. Der Turbineneintrittsdruck ist hier gleich dem zweiten Luftdruck.

**[0030]** In dem Destillationssäulen-System wird die Sumpfflüssigkeit 15 der Hochdrucksäule in einem Unterkühlungs-Gegenströmer 16 abgekühlt und über Leitung 17 einem Argonteil 500 zugeleitet, der später erläutert wird. Von dort tritt sie zum Teil flüssig (Leitung 18) und zum Teil gasförmig (Leitung 19) inter Niederdrucksäulenruck wieder aus und wird an geeigneter Stelle in die

Niederdrucksäule 12 eingespeist. (Falls kein Argonteil vorhanden ist, wird die unterkühlte Sumpfflüssigkeit unmittelbar auf Niederdrucksäulenruck entspannt und in die Niederdrucksäule eingeleitet.)

**[0031]** Mindestens ein Teil der über Leitung 9 in die Hochdrucksäule 10 geleiteten Flüssigluft wird über Leitung 18 wieder entnommen, ebenfalls im Unterkühlungs-Gegenströmer 16 abgekühlt und über Ventil 21 und Leitung 22 der Niederdrucksäule 12 zugeführt.

**[0032]** Der gasförmige Kopfstickstoff 23 der Hochdrucksäule 10 wird zu einem ersten Teil 24 in den Verflüssigungsraum des Hauptkondensators 11 eingeleitet und dort im Wesentlichen vollständig verflüssigt. Der dabei gewonnene Flüssigstickstoff 25 wird zu einem ersten Teil 26 als Rücklauf auf die Hochdrucksäule 10 aufgegeben. Ein zweiter Teil 27 wird im Unterkühlungs-Gegenströmer 16 abgekühlt und über Ventil 28 und Leitung der Niederdrucksäule 12 am Kopf zugeführt. Ein Teil davon wird im ersten Betriebsmodus über Leitung 30 wieder entnommen und als Flüssigstickstoffprodukt (LIN) gewonnen und aus der Luftzerlegungsanlage abgezogen.

**[0033]** Vom Kopf der Niederdrucksäule, in dem ein Druck von 1,2 bar bis 1,6 bar, beispielweise 1,3 bar herrscht, wird gasförmiger Niederdruckstickstoff 31 entnommen, im Unterkühlungs-Gegenströmer 16 und im Hauptwärmetauscher 8 angewärmt und über Leitung 32 als gasförmiges Niederdruckprodukt (GAN) abgezogen. Gasförmiger Unreinstickstoff 33 aus der Niederdrucksäule wird ebenfalls in Unterkühlungs-Gegenströmer 16 und Hauptwärmetauscher 8 angewärmt. Der warme Unreinstickstoff 34 kann entweder über Leitung 35 in die Atmosphäre (ATM) abgeblasen oder über Leitung 36 als Regeneriergas in der Reinigungseinrichtung 6 eingesetzt werden.

**[0034]** Vom Sumpf der Niederdrucksäule 12 (genau genommen aus dem Verdampfungsraum des Hauptkondensators 11) wird über Leitung 37 flüssiger Sauerstoff abgezogen. Ein erster Teil 38 wird gegebenenfalls im Unterkühlungs-Gegenströmer 16 unterkühlt und über Leitung 39 als Flüssigsauerstoffprodukt (GOX) gewonnen und aus der Luftzerlegungsanlage abgezogen. Ein zweiter Teil 40 bildet den "ersten Produktstrom", wird in einer Pumpe 41 auf einen ersten Produkt von beispielsweise 37 bar gebracht, unter diesem hohen Druck in dem Hauptwärmetauscher 16 verdampft und auf etwa Umgebungstemperatur angewärmt. Der warme Drucksauerstoff 42 wird als sauerstoffreiches erstes Druckgasprodukt (GOX IC) abgegeben.

**[0035]** Ein weiteres Innenverdichtungsprodukt kann aus einem dritten Teil 43 des flüssigen Stickstoffs 25 aus dem Hauptkondensator 11 gewonnen werden. Dieser wird als "zweiter Produktstrom" in einer Pumpe 44 flüssig auf einen zweiten Produktdruck von beispielsweise auch 37 bar gebracht. Unter diesem zweiten Produktdruck wird er im Hauptwärmetauscher 8 verdampft und auf etwa Umgebungstemperatur angewärmt. Der warme Druckstickstoff 45 wird schließlich unter dem zweiten Produktdruck als stickstoffreiches Druckgasprodukt

(GAN IC) abgegeben.

**[0036]** Ein dritter Teil 230 des zweiten Luftstroms 204 bildet einen "vierten Luftstrom"; dieser wird in dem Hauptwärmetauscher (8) auf eine erste Zwischentemperatur (T3) abgekühlt, in einem Kaltverdichter (14c) auf einen dritten Luftdruck von beispielsweise 40 bar weiterverdichtet und durchströmt unter diesem sehr hohen Druck den Hauptwärmetauscher bis zum kalten Ende. Der kalte pseudo-verflüssigte dritte Teil 232 wird in einem Drosselventil 233 auf Hochdrucksäulendruck entspannt und über die Leitungen 234 und 9 der Hochdrucksäule 10 zugeführt.

**[0037]** Der Kaltverdichter 14c wird von einer zweiten Expansionsturbine 14t angetrieben, in der ein dritter Teilstrom 301 des verdichteten Gesamtluftstroms 7 als "fünfter Luftstrom" arbeitsleistend entspannt wird von dem ersten Luftdruck auf den Betriebsdruck der Hochdrucksäule 10. Die zweite Turbine weist eine Eintrittstemperatur T2 auf. Der arbeitsleistend entspannte fünfte Luftstrom 302 wird über Leitung 13 in die Hochdrucksäule 10 eingeleitet.

**[0038]** Abweichend von dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel können die beiden Turbineneintrittstemperaturen T1 und T2 im Rahmen der Erfindung auch gleich sein.

**[0039]** Falls ein Argonprodukt benötigt wird, weist die Luftzerlegungsanlage außerdem einen Argonteil 500 auf, der wie in EP 2447563 A1 beschrieben funktioniert und ein weiteres Flüssigprodukt in Form flüssigen Reinargons (LAR) produziert, das über Leitung 501 abgezogen wird.

**[0040]** Die "erste Gesamtmenge an Flüssigprodukten", die in einem ersten Betriebsmodus aus der Luftzerlegungsanlage abgezogen wird, setzt sich bei diesem Ausführungsbeispiel aus den Strömen 30 (LIN), 39 (LOX) und 501 (LAR) zusammen. In dem ersten Betriebsmodus liegt das Verhältnis der Gesamtmenge an Flüssigprodukten (LOX, LIN, LAR) zu der Menge an sauerstoffreichem Druckgasprodukt 42 (GOX IC, "erstes Druckgasprodukt") zwischen 20 und 30 %. Die Leistung der Turbine 14t beträgt weniger als 20 % der Leistung der Turbine 202t.

**[0041]** In einem zweiten Betriebsmodus wird die Anlage mit einer geringeren "zweiten Gesamtmenge an Flüssigprodukten" und geringerem Verhältnis der Gesamtmenge an Flüssigprodukten (LOX, LIN, LAR) zu der Menge an sauerstoffreichem Druckgasprodukt 42 (GOX IC, "erstes Druckgasprodukt") gefahren. In der Regel wird die Strömungsmenge in mindestens einer der Leitungen 30 und 39 reduziert, vorzugsweise in beiden. Die Argonproduktion wird in der Regel nicht gezielt gedrosselt, da in meisten Fällen die maximale Argon-Ausbeute gewünscht ist. Auch die Mengen und Drücke der Innenverdichtungsprodukte 42, 45 bleiben konstant.

**[0042]** Im zweiten Betriebsmodus werden die Turbinenleistungen verschoben, die Turbine 14t wird hochgefahren, insbesondere auf Voillast und die Leistung der Turbine 202t wird reduziert. Das Verhältnis der Leistun-

gen der Turbinen 14t/202t beträgt beispielsweise weniger als 30 %

**[0043]** Außerdem werden die Gesamtluftmenge und der Enddruck des Verdichters reduziert, sodass der Hauptluftverdichter 3 weniger Energie verbraucht. Der Innenverdichtungsprozess wird aber dadurch verbessert, dass der vierte und der fünfte Teilstrom 230, 301 erhöht werden und damit mehr Hochdruckluft 232 zur Verfügung steht. Die Luftmenge durch die Leitung 100 wird geringer oder gleich hoch wie im ersten Betriebsmodus. Mit der Verringerung der Flüssigproduktion beim Übergang von den ersten auf den zweiten Betriebsfall wird die Last der zweiten Turbine 14t erhöht und die Last der ersten Turbine 202t vermindert.

**[0044]** Grundsätzlich kann der beschriebene Prozess zeitweise auch stationär gefahren werden, das heißt mit gleich bleibender Flüssigproduktion. In einem anderen Anwendungsfall kann es sinnvoll sein, die Kombination aus zweiter Turbine 14t und Kaltverdichter 14c im ersten Betriebsmodus ganz stillzulegen.

**[0045]** Die zweite Turbine 14t kann auch so ausgebildet sein, dass sie nicht in die Hochdrucksäule 10, sondern in die Niederdrucksäule 12 einbläst; durch das entsprechend erhöhte Druckverhältnis kann mehr Energie für den Kaltverdichter zur Verfügung gestellt werden.

**[0046]** Der Effekt der Erfindung kann weiter verstärkt werden, indem dem Kaltverdichter 14c ein abschaltbarer zweiter Kaltverdichter nachgeschaltet ist. Der Strom aus dem ersten Kaltverdichter 14c wird im zweiten Betriebsmodus durch einen zweiten Kaltverdichter geleitet, bevor er wieder in den Hauptwärmetauscher eingeführt wird. Der zweite Kaltverdichter wird mit einem Elektromotor angetrieben. Im ersten Betriebsmodus wird der zweite Kaltverdichter ausgeschaltet und der Strom aus dem ersten Kaltverdichter 14c fließt über eine Bypass-Leitung an dem zweiten Kaltverdichter vorbei.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft in einer Luftzerlegungsanlage, die einen Hauptluftverdichter, einen Hauptwärmetauscher (8) und ein Destillationssäulen-System mit einer Hochdrucksäule (10) und einer Niederdrucksäule aufweist, wobei
  - die gesamte Einsatzluft (1) in dem Hauptluftverdichter (3) auf einen ersten Luftdruck verdichtet wird, der mindestens 3 bar höher als der Betriebsdruck der Hochdrucksäule ist, um einen verdichteten Gesamtluftstrom (4, 7) zu bilden,
  - ein erster Teil des verdichteten Gesamtluftstroms als erster Luftstrom (100) unter dem ersten Luftdruck in dem Hauptwärmetauscher (8) abgekühlt und verflüssigt oder pseudo-verflüssigt, anschließend entspannt (101) und in das Destillationssäulen-System eingeleitet (102, 9) wird,

- ein zweiter Teil des verdichteten Gesamtaufstroms als zweiter Luftstrom (200) in einem ersten turbinengetriebenen Nachverdichter (202c) auf einen zweiten Luftdruck nachverdichtet wird, der höher als der erste Luftdruck ist, 5
- ein erster Teilstrom des nachverdichteten zweiten Luftstroms als dritter Luftstrom (210) unter dem zweiten Luftdruck und unter einer ersten Temperatur (T1) in eine erste Turbine (202t) eingeleitet, dort arbeitsleistend entspannt und anschließend in das Destillationssäulen-System eingeleitet (211, 213, 22) wird, wobei die erste Turbine (202t) den ersten turbinengetriebenen Nachverdichter (202c) antreibt, 10
- mindestens zeitweise mindestens ein Flüssigprodukt (30; 39; LAR) in dem Destillationssäulen-System gewonnen und aus der Luftzerleugungsanlage abgezogen wird, 15
- ein erster Produktstrom (37; 43) flüssig aus dem Destillationssäulen-System abgezogen, in flüssigem Zustand auf einen ersten erhöhten Produktdruck gebracht (41; 44), in dem Hauptwärmetauscher (8) verdampft oder pseudo-verdampft und angewärmt wird und 20
- der angewärmede erste Produktstrom (42; 45) als erstes Druckgasprodukt aus der Luftzerleugungsanlage abgezogen wird, wobei 25
- mindestens zeitweise
- ein zweiter Teilstrom des nachverdichteten zweiten Luftstroms als vierter Luftstrom (230) in dem Hauptwärmetauscher (8) auf eine erste Zwischentemperatur (T3) abgekühlt, in einem Kaltverdichter (14c) auf einen dritten Luftdruck weiterverdichtet wird, der höher als der zweite Luftdruck ist und 30
- der weiterverdichtete vierte Luftstrom (231) unter dem dritten Luftdruck in dem Hauptwärmetauscher (8) abgekühlt und verflüssigt oder pseudo-verflüssigt, anschließend entspannt (233) und in das Destillationssäulen-System eingeleitet (234, 35 40 45 50 55 9) wird,
- in einem ersten Betriebsmodus eine erste Gesamtmenge an Flüssigprodukten (30; 39; LAR) aus der Luftzerlegungsanlage abgezogen wird, - in einem zweiten Betriebsmodus eine zweite Gesamtmenge an Flüssigprodukten (30; 39; LAR) aus der Luftzerlegungsanlage abgezogen wird, die geringer als die erste Gesamtmenge ist, und dass - der vierte Luftstrom (230), der durch den Kaltverdichter (14c) strömt, mindestens eine der folgenden Eigenschaften aufweist:
- seine Menge ist im zweiten Betriebsmodus größer als im ersten Betriebsmodus
- sein Druck am Austritt des Kaltverdichters ist im zweiten Betriebsmodus höher als im ersten Betriebsmodus.
- 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass**
- mindestens zeitweise
- ein dritter Teil des verdichteten Gesamtaufstroms als fünfter Luftstrom (301) unter dem ersten Luftdruck und bei einer zweiten Temperatur (T2) in eine zweite Turbine (14t) eingeleitet und dort arbeitsleistend entspannt wird,
- die zweite Turbine (14t) einen zweiten turbinengetriebenen Nachverdichter antreibt, der durch den Kaltverdichter (14c) gebildet wird,
- der arbeitsleistend entspannte fünfte Luftstrom (302) in das Destillationssäulen-System eingeleitet (13) wird und dass
- in dem ersten Betriebsmodus die Luftmenge, die als fünfter Luftstrom (301, 302) durch die zweite Turbine (14t) geleitet wird, geringer ist als im zweiten Betriebsmodus.
- 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass**
- in dem ersten Betriebsmodus
- eine erste Luftmenge des verdichteten Gesamtaufstroms den ersten Luftstrom (100) bildet und
- eine zweite Luftmenge des verdichteten Gesamtaufstroms den zweiten Luftstrom (200) bildet und
- in dem zweiten Betriebsmodus
- eine dritte Luftmenge des verdichteten Gesamtaufstroms, die gleich oder geringer als die erste Luftmenge ist, den ersten Luftstrom (100) bildet und
- eine vierte Luftmenge des verdichteten Gesamtaufstroms, die geringer als die zweite Luftmenge ist, den zweiten Luftstrom (200) bildet.
- 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass** der dritte Luftstrom (210) in der ersten Turbine (202t) auf einen Austrittsdruck entspannt wird, der gleich dem Betriebsdruck der Hochdrucksäule (10) ist.
- 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, da-**

- durch gekennzeichnet, dass** der fünfte Luftstrom (301) in der zweiten Turbine (14t) auf einen Austrittsdruck entspannt wird, der gleich dem Betriebsdruck der Hochdrucksäule (10) ist.
- 5
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **durch gekennzeichnet, dass** in dem zweiten Betriebsmodus der sechste Luftstrom (301) in der zweiten Turbine (14t) auf einen Austrittsdruck entspannt wird, der gleich dem Betriebsdruck der Niederdrucksäule (12) ist.
- 10
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **durch gekennzeichnet, dass** in beiden Betriebsmodi mindestens ein Teil mindestens eines der folgenden Luftströme jeweils stromabwärts seiner Entspannung in die Hochdrucksäule (10) eingeleitet wird:
- 15
- erster Luftstrom (102),
  - dritter Luftstrom (211),
  - vierter Luftstrom (234).
- 20
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **durch gekennzeichnet, dass** mindestens ein Teil des entspannten fünften Luftstroms (302) in die Hochdrucksäule (10) eingeleitet (13) wird.
- 25
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **durch gekennzeichnet, dass**
- 30
- ein zweiter Produktstrom flüssig aus dem Destillationssäulen-System abgezogen, in flüssigem Zustand auf einen zweiten erhöhten Produktdruck gebracht, in dem Hauptwärmetauscher verdampft oder pseudo-verdampft und angewärmt wird und
  - der angewärmede zweite Produktstrom als zweites Druckgasprodukt aus der Luftzerlegungsanlage abgezogen wird,
  - wobei insbesondere
  - der erste Produktstrom durch Sauerstoff (37) aus dem unteren Bereich der Niederdrucksäule und/oder
  - der zweite Produktstrom durch Stickstoff (43) aus dem oberen Bereich der Hochdrucksäule oder aus einem Kopfkondensator der Hochdrucksäule gebildet wird.
- 35
10. Luftzerlegungsanlage zur Tieftemperaturzerlegung von Luft mit
- 50
- einem Hauptwärmetauscher (8),
  - einem Destillationssäulen-System, das eine Hochdrucksäule (10) und eine Niederdrucksäule aufweist,
  - einem Hauptluftverdichter (3) zum Verdichten der gesamten Einsatzluft (1) auf einen ersten
- 55
- Luftdruck, der mindestens 3 bar höher als der Betriebsdruck der Hochdrucksäule ist, um einen verdichten Gesamtluftstrom (4, 7) zu bilden,
- Mitteln zum Abkühlen eines ersten Teils des verdichten Gesamtluftstroms als ersten Luftstrom (100) unter dem ersten Luftdruck in dem Hauptwärmetauscher (8),
  - Mitteln zum Entspannen (101) und Einleiten (102, 9) in das Destillationssäulen-System des abgekühlten ersten Luftstroms,
  - einem ersten turbinengetriebenen Nachverdichter (202c) zum Nachverdichten eines zweiten Teils des verdichten Gesamtluftstroms als zweiten Luftstrom (200) auf einen zweiten Luftdruck, der höher als der erste Luftdruck ist,
  - einer ersten Turbine (202t) zum arbeitsleistenden Entspannen eines ersten Teilstroms des nachverdichten zweiten Luftstroms als dritten Luftstrom (210), von dem zweiten Luftdruck und einer ersten Temperatur (T1) aus einem ersten Turbineneintrittsdruck aus, der größer als der erste Luftdruck, aber nicht größer als der dritte Luftdruck ist, wobei die erste Turbine (202t) mit dem ersten turbinengetriebenen Nachverdichter (202c) gekoppelt ist,
  - Mitteln zum Einleiten (211, 213, 22) des arbeitsleistend entspannten dritten Teilstroms in das Destillationssäulen-System,
  - Mitteln zum Gewinnen mindestens eines Flüssigprodukts (30; 39; LAR) in dem Destillationssäulen-System und Mittel zum Abziehen des Flüssigprodukts aus der Luftzerlegungsanlage,
  - Mitteln zum flüssigen Abziehen eines ersten Produktstroms (37; 43) aus dem Destillationssäulen-System abgezogen, zur Druckerhöhung in flüssigem Zustand auf einen ersten erhöhten Produktdruck (41; 44), zum Anwärmen in dem Hauptwärmetauscher (8) und mit
  - Mitteln zum Abziehen des angewärmeden ersten Produktstroms (42; 45) als erstes Druckgasprodukt aus der Luftzerlegungsanlage,
  - Mittel zum Abkühlen eines zweiten Teilstroms des zweiten Luftstroms als vierten Luftstrom (230) in dem Hauptwärmetauscher (8) auf eine erste Zwischentemperatur T3),
  - einen Kaltverdichter (14c) zum Weiterverdichten des vierten Luftstroms auf einen dritten Luftdruck, der höher als der zweite Luftdruck ist,
  - Mittel zum Abkühlen des weiterverdichten vierten Luftstroms unter dem dritten Luftdruck in dem Hauptwärmetauscher (8),
  - Mittel zum Entspannen (233) und Einleiten (234, 9) in das Destillationssäulen-System des abgekühlten vierten Luftstroms
  - und mit Mitteln zum Umschalten zwischen einem ersten und einem zweiten Betriebsmodus, wobei

- in einem ersten Betriebsmodus eine erste Gesamtmenge an Flüssigprodukten (30; 39; LAR) aus der Luftzerlegungsanlage abgezogen wird,
- in einem zweiten Betriebsmodus eine zweite Gesamtmenge an Flüssigprodukten (30; 39; LAR) aus der Luftzerlegungsanlage abgezogen wird, die geringer als die erste Gesamtmenge ist,

10

- wobei die Mittel zum Umschalten so ausgebildet sind, dass der vierte Luftstrom (230), der durch den Kaltverdichter (14c) strömt, mindestens eine der folgenden Eigenschaften aufweist:

15

- seine Menge ist im zweiten Betriebsmodus größer als im ersten Betriebsmodus und
- sein Druck am Austritt des Kaltverdichters ist im zweiten Betriebsmodus höher als im ersten Betriebsmodus.

20

25

30

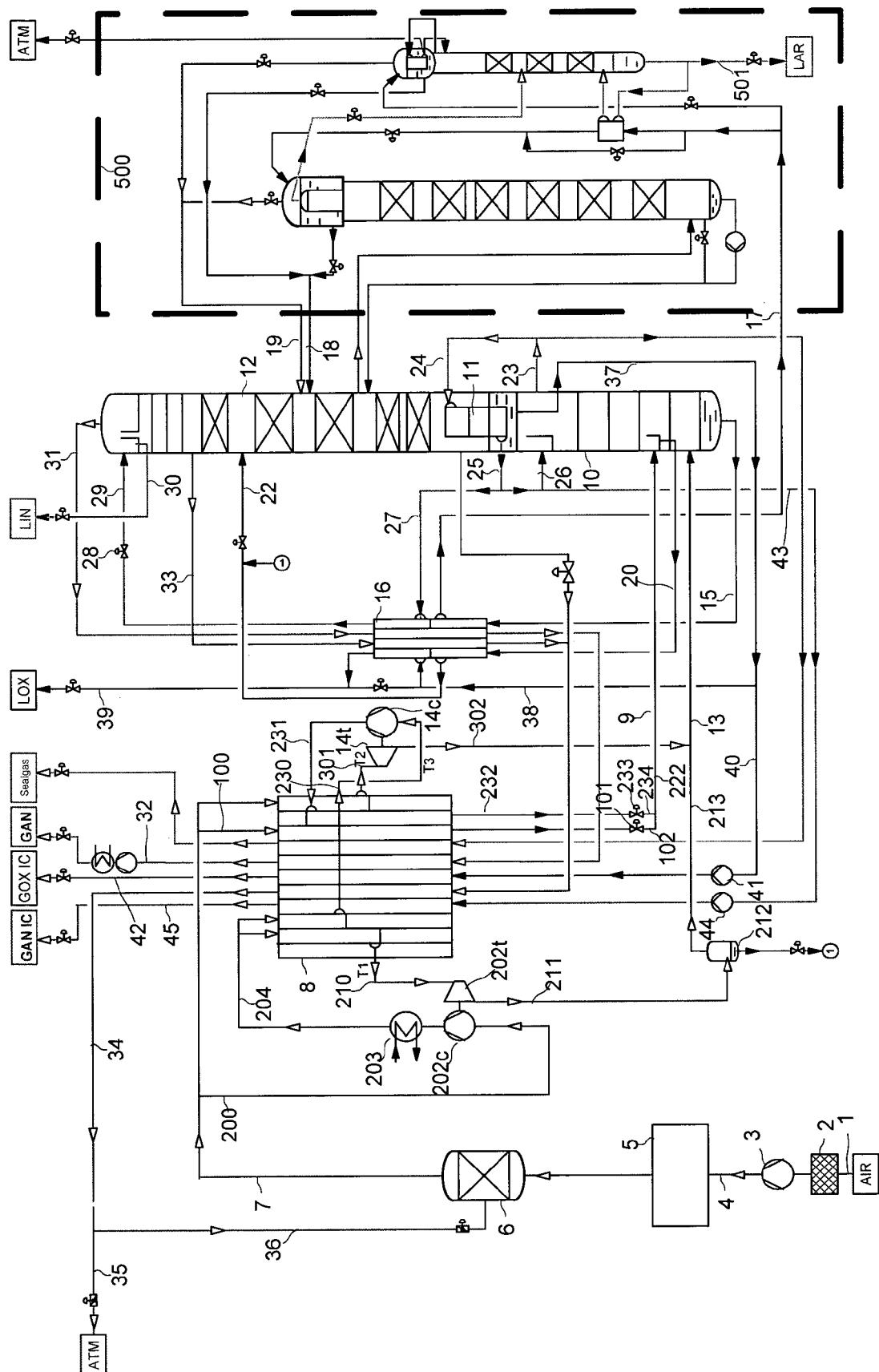
35

40

45

50

55





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 15 00 1881

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)
Y	EP 2 458 311 A1 (LINDE AG [DE]) 30. Mai 2012 (2012-05-30) * Spalte 2, Absatz 0013 - Spalte 2, Absatz 0013 * * Spalte 3, Absatz 0018 - Spalte 3, Absatz 0019 * * Spalte 4, Absatz 0022 - Spalte 4, Absatz 0023; Abbildung 1 * * Spalte 5, Zeile 29, Absatz 0027 - Spalte 5, Zeile 48, Absatz 0027 * * Spalte 6, Absatz 0029 - Spalte 6, Absatz 0031 * -----	1-10	INV. F25J3/04
Y	US 2005/126221 A1 (HA BAO [US] ET AL) 16. Juni 2005 (2005-06-16) * Seite 1, Absatz 0003 - Seite 1, Absatz 0005; Abbildung 7 * * Seite 2, Absatz 0025 - Seite 2, Absatz 0025 *	1-10	
Y	EP 2 520 886 A1 (LINDE AG [DE]) 7. November 2012 (2012-11-07) * Spalte 1, Absatz 0006 - Spalte 1, Absatz 0006; Abbildung 1 * * Spalte 4, Absatz 0026 - Spalte 5, Absatz 0028 * * Spalte 5, Absatz 0031 - Spalte 5, Absatz 0031 * -----	1-10	RECHERCHIERTE SACHGEBiete (IPC) F25J
1	Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt		
	Recherchenort München	Abschlußdatum der Recherche 17. November 2015	Prüfer Schopfer, Georg
	KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE	T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldeatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
	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		

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

EP 15 00 1881

5

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendokumente 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.

17-11-2015

10

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2458311 A1	30-05-2012	DE 102010052545 A1 EP 2458311 A1	31-05-2012 30-05-2012
US 2005126221 A1	16-06-2005	BR PI0417444 A CA 2548797 A1 CN 1890525 A EP 1700072 A1 US 2005126221 A1 WO 2005057112 A1	06-03-2007 23-06-2005 03-01-2007 13-09-2006 16-06-2005 23-06-2005
EP 2520886 A1	07-11-2012	KEINE	

EPO FORM P0461

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

15

20

25

30

35

40

45

50

55

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

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

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- US 2009078001 A1 [0001]
- DE 830805 [0007]
- DE 901542 [0007]
- US 2712738 A [0007]
- US 2784572 A [0007]
- DE 952908 [0007]
- DE 1103363 [0007]
- US 3083544 A [0007]
- DE 1112997 [0007]
- US 3214925 A [0007]
- DE 1124529 [0007]
- DE 1117616 [0007]
- US 3280574 A [0007]
- DE 1226616 [0007]
- US 3216206 A [0007]
- DE 1229561 [0007]
- US 3222878 A [0007]
- DE 1199293 [0007]
- DE 1187248 [0007]
- US 3371496 A [0007]
- DE 1235347 [0007]
- DE 1258882 [0007]
- US 3426543 A [0007]
- DE 1263037 [0007]
- US 3401531 A [0007]
- DE 1501722 [0007]
- US 3416323 A [0007]
- DE 1501723 [0007]
- US 3500651 A [0007]
- DE 253132 [0007]
- US 4279631 A [0007]
- DE 2646690 [0007]
- EP 93448 B1 [0007]
- US 4555256 A [0007]
- EP 384483 B1 [0007]
- US 5036672 A [0007]
- EP 505812 B1 [0007]
- US 5263328 A [0007]
- EP 716280 B1 [0007]
- US 5644934 A [0007]
- EP 842385 B1 [0007]
- US 5953937 A [0007]
- EP 758733 B1 [0007]
- US 5845517 A [0007]
- EP 895045 B1 [0007]
- US 6038885 A [0007]
- DE 19803437 A1 [0007]
- EP 949471 B1 [0007]
- US 6185960 B1 [0007]
- EP 955509 A1 [0007]
- US 6196022 B1 [0007]
- EP 1031804 A1 [0007]
- US 6314755 B [0007]
- DE 19909744 A1 [0007]
- EP 1067345 A1 [0007]
- US 6336345 B [0007]
- EP 1074805 A1 [0007]
- US 6332337 B [0007]
- DE 19954593 A1 [0007]
- EP 1134525 A1 [0007]
- US 6477860 B [0007]
- DE 10013073 A1 [0007]
- EP 1139046 A1 [0007]
- EP 1146301 A1 [0007]
- EP 1150082 A1 [0007]
- EP 1213552 A1 [0007]
- DE 10115258 A1 [0007]
- EP 1284404 A1 [0007]
- US 2003051504 A1 [0007]
- EP 1308680 A1 [0007]
- US 6612129 B2 [0007]
- DE 10213212 A1 [0007]
- DE 10213211 A1 [0007]
- EP 1357342 A1 [0007]
- DE 10238282 A1 [0007]
- DE 10302389 A1 [0007]
- DE 10334559 A1 [0007]
- DE 10334560 A1 [0007]
- DE 10332863 A1 [0007]
- EP 1544559 A1 [0007]
- EP 1585926 A1 [0007]
- DE 102005029274 A1 [0007]
- EP 1666824 A1 [0007]
- EP 1672301 A1 [0007]
- DE 102005028012 A1 [0007]
- WO 2007033838 A1 [0007]
- WO 2007104449 A1 [0007]
- EP 1845324 A1 [0007]
- DE 102006032731 A1 [0007]
- EP 1892490 A1 [0007]
- DE 102007014643 A1 [0007]
- EP 2015012 A2 [0007]
- EP 2015013 A2 [0007]
- EP 2026024 A1 [0007]
- WO 2009095188 A2 [0007]
- DE 102008016355 A1 [0007]
- EP 2447563 A1 [0039]

**In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur**

- **HAUSEN ; LINDE.** Tieftemperaturtechnik. 1985,  
281-337 [0003]