



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
07.12.2016 Patentblatt 2016/49

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

(21) Anmeldenummer: **16001082.3**

(22) Anmeldetag: **12.05.2016**

(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 MD

(71) Anmelder: **Linde Aktiengesellschaft**
80331 München (DE)

(72) Erfinder: **Goloubev, Dimitri**
82538 Geretsried (DE)

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

(30) Priorität: **03.06.2015 EP 15001668**

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

(57) Es wird ein Verfahren zur destillativen Tieftemperaturzerlegung von Einsatzluft in einem Destillations-säulensystem (10) einer Luftzerlegungsanlage bei unterschiedlichen Destillationsdrücken vorgeschlagen, wobei die gesamte Einsatzluft in einer Gesamtluftmenge auf ein erstes Druckniveau verdichtet wird, das mindestens 4 bis 5 bar oberhalb des höchsten der Destillationsdrücke liegt, und von der Gesamtluftmenge eine erste Teilluftmenge zunächst auf ein erstes Temperaturniveau von 130 bis 170 abgekühlt und danach auf ein zweites Druckniveau verdichtet wird, das mindestens 10 bar oberhalb des ersten Druckniveaus liegt, und eine zweite Teilluftmenge zunächst auf ein zweites Temperaturniveau von 110 bis 150 K abgekühlt und danach auf ein drittes Druckniveau entspannt wird, das unterhalb des ersten Druckniveaus liegt. Es ist vorgesehen, dass eine Verdichtungs-/Entspannungsanordnung (30, 40) mit einem Getriebe verwendet wird, in dem ein Antriebsrad (38) mit einem Getrieberad (39) und das Getrieberad (39) mit einem Abtriebsrad (37) in Eingriff steht, wobei mit dem Antriebsrad (38) die Laufschaufeln zweier oder mehrerer Turboexpander (33, 34) und mit dem Abtriebsrad (37) die Laufschaufeln zweier oder mehrerer Turboverdichter (31, 32) gekoppelt sind, und die erste Teilluftmenge zur Verdichtung auf das zweite Druckniveau nacheinander durch die Turboverdichter (31, 32) und die zweite Teilluftmenge zur Entspannung auf das dritte Druckniveau parallel durch die Turboexpander (33, 34) geführt wird. Eine entsprechende Luftzerlegungsanlage (100, 200) ist ebenfalls Gegenstand der Erfindung.

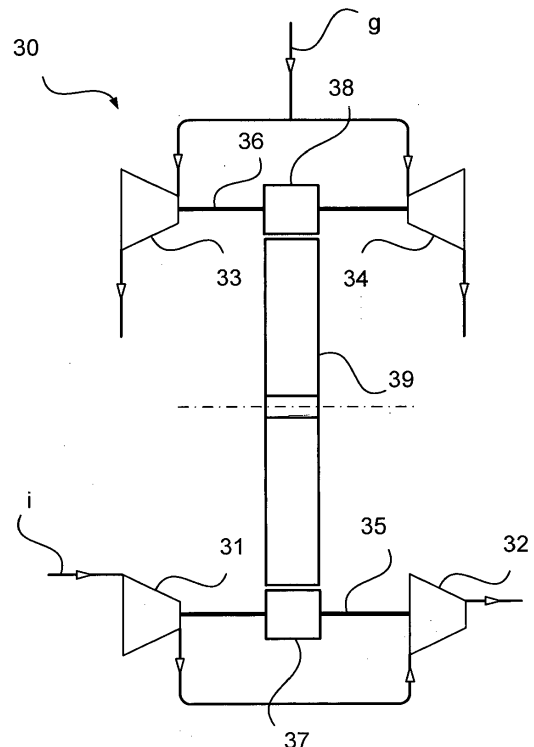


Fig. 3

Beschreibung

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

Stand der Technik

[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. Die vorliegende Erfindung eignet sich in besonderer Weise für Luftzerlegungsanlagen mit Innenverdichtung, wie a.a.O., Abschnitt 2.2.5.2, "Internal Compression", erläutert.

[0003] Luftzerlegungsanlagen weisen Destillationssäulensysteme auf, die beispielsweise als Zweisäulensysteme, insbesondere als klassische Linde-Doppelsäulensysteme, aber auch als Drei- oder Mehrsäulensysteme ausgebildet sein können. Neben den Destillationssäulen zur Gewinnung von Stickstoff und/oder Sauerstoff in flüssigem und/oder gasförmigem Zustand (beispielsweise flüssigem Sauerstoff, LOX, gasförmigem Sauerstoff, GOX, flüssigem Stickstoff, LIN und/oder gasförmigem Stickstoff, GAN), also den Destillationssäulen zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung, können Destillationssäulen zur Gewinnung weiterer Luftkomponenten, insbesondere der Edelgase Krypton, Xenon und/oder Argon, vorgesehen sein.

[0004] Die Destillationssäulensysteme von Luftzerlegungsanlagen werden bei unterschiedlichen Betriebsdrücken in ihren Destillationssäulen betrieben. Bekannte Doppelsäulensysteme weisen beispielsweise eine sogenannte (Hoch-)Drucksäule und eine sogenannte Niederdrucksäule auf. Der Betriebsdruck der Hochdrucksäule beträgt beispielsweise 4,3 bis 6,9 bar, insbesondere etwa 5,5 bar. Die Niederdrucksäule wird bei einem Betriebsdruck von beispielsweise 1,2 bis 1,7 bar, insbesondere etwa 1,4 bar, betrieben. Bei den hier angegebenen Drücken handelt es sich um Absolutdrücke im Sumpf entsprechender Destillationssäulen. Die genannten Drücke werden nachfolgend auch als "Destillationsdrücke" bezeichnet, weil bei ihnen die fraktionierte Destillation der jeweils eingespeisten Luft innerhalb der Destillationssäulen erfolgt. Dies schließt nicht aus, dass in einem Destillationssäulensystem an anderer Stelle auch noch andere Drücke vorliegen können.

[0005] In die Destillationssäulensysteme wird abgekühlte Druckluft (Einsatzluft) eingespeist, die mittels unterschiedlicher Verdichter oder Kombinationen aus unterschiedlichen Verdichtern (beispielsweise Hauptluftverdichtern und Nachverdichtern) auf Druck gebracht wird. Auch in einer entsprechenden Luftzerlegungsanlage gewonnene Produkte können mit Verdichtern (Produktverdichtern) oder entsprechenden Kombinationen

von Verdichtern auf Druck gebracht werden.

[0006] Die Betriebskosten (OPEX) einer Luftzerlegungsanlage werden im Wesentlichen vom Energieverbrauch bestimmt, der wiederum hauptsächlich vom Energieverbrauch der Verdichter (Hauptluftverdichter, Nachverdichter und Produktverdichter, falls vorhanden) abhängig ist. Die Investitionskosten (CAPEX) werden ebenfalls wesentlich durch die für die Bereitstellung der Verdichter aufzuwendenden Kosten bestimmt.

[0007] Bei der Luftzerlegung können Verfahren eingesetzt werden, bei denen die Einsatzluft mittels eines Hauptluftverdichters (engl. Main Air Compressor, MAC) in etwa auf den Druck der Hochdrucksäule gebracht und nur ein Teil der Einsatzluft mittels eines Nachverdichters (engl. Booster Air Compressor, BAC) nachverdichtet und zur Innenverdichtung von Sauerstoff (siehe unten) bzw. zur Kälteerzeugung genutzt wird. Diese eher konventionellen Verfahren werden auch als MAC/BAC-Verfahren bezeichnet.

[0008] Neuerdings werden anstelle der MAC/BAC-Verfahren zunehmend sogenannte HAP-Verfahren (engl. High Air Pressure) eingesetzt, da diese im Vergleich zu den MAC/BAC-Verfahren Vorteile bieten können. HAP-Verfahren sind insbesondere bei der Kohlevergasung oder Kohleverflüssigung (engl. Coal to Gas, Coal to Liquids, CTX) oder der Vergasung von Schweröl von Vorteil. Die hier eingesetzten Luftzerlegungsanlagen müssen in der Regel ausschließlich oder nahezu ausschließlich Gasprodukte (gasförmigen, innenverdichteten Drucksauerstoff, GOXIC bzw. Druckstickstoff, PGAN) liefern, wobei kein Bedarf nach einer nennenswerten Flexibilität in der Verfahrensführung besteht.

[0009] Bei einem HAP-Verfahren wird die gesamte Einsatzluft in einem Hauptluftverdichter auf einen Druck verdichtet, der deutlich über dem Destillationsdruck in der Hochdrucksäule liegt. Der verwendete Druckunterschied beträgt dabei mindestens 4 bar und vorzugsweise zwischen 6 und 16 bar. Derartige HAP-Verfahren sind beispielsweise aus der EP 2 466 236 A1, der EP 2 458 311 A1 und der US 5 329 776 A bekannt, MAC/BAC-Verfahren beispielsweise aus der eingangs zitierten Fachliteratur.

[0010] Die US 5 901 579 A zeigt eine über ein Getriebe gekoppelte Turboverdichter und Turboexpander zum Einsatz in einem HAP-Verfahren. Aus der EP 2 634 517 A1 und der EP 2 520 886 A1 sind Anordnungen bekannt, bei denen sogenannte Kaltverdichter bzw. Kaltbooster (siehe unten) zum Einsatz kommen.

[0011] Luftzerlegungsanlagen können, wie erwähnt, mit sogenannter Innenverdichtung betrieben werden. Bei der Innenverdichtung, beispielsweise zur Bereitstellung des erwähnten gasförmigen, innenverdichteten Drucksauerstoffs, wird dem Destillationssäulensystem ein flüssiger Strom entnommen und zumindest zum Teil flüssig auf Druck gebracht. Der flüssig auf Druck gebrachte Strom wird in einem Hauptwärmetauscher der Luftzerlegungsanlage gegen einen Wärmeträger erwärmt und verdampft. Bei dem flüssigen Strom kann es sich insbe-

sondere um flüssigen Sauerstoff, jedoch auch um Stickstoff oder Argon handeln. Die Innenverdichtung wird damit zur Gewinnung entsprechender gasförmiger Druckprodukte eingesetzt. Der Vorteil an Innenverdichtungsverfahren ist unter anderem, dass entsprechende Fluide nicht außerhalb der Luftzerlegungsanlage in gasförmigem Zustand verdichtet werden müssen, was sich häufig als sehr aufwendig erweist und/oder aufwendige Sicherheitsmaßnahmen erfordert.

[0012] Der Begriff "Verdampfen" schließt, wie auch nachfolgend noch erläutert, bei der Innenverdichtung Fälle ein, bei denen ein überkritischer Druck herrscht und daher kein Phasenübergang im eigentlichen Sinne stattfindet. Der flüssig auf Druck gebrachte Strom wird dann "pseudoverdampft". Gegen einen (pseudo-)verdampfenden Strom wird ein Wärmeträger verflüssigt (bzw. pseudoverflüssigt, wenn er unter überkritischem Druck steht). Der Wärmeträger wird dabei üblicherweise durch einen Teilstrom der verdichteten Einsatzluft gebildet, der als Drosselstrom bezeichnet wird. In einem wärmeren Bereich des bei der Verdampfung oder Pseudoverdampfung eingesetzten Wärmetauschers kann zusätzliche Verdampfungswärme durch den sogenannten Turbinenstrom (bzw. durch mehrere Turbinenströme) eingebracht werden.

[0013] Um den flüssig auf Druck gebrachten Strom effizient erwärmen und verdampfen zu können, muss dieser Wärmeträger aufgrund thermodynamischer Gegebenheiten einen relativ hohen Druck haben. Daher muss ein entsprechend hoch verdichteter Strom bereitgestellt werden. Soll, beispielsweise zum Einsatz in den erwähnten CTX-Verfahren bzw. der Vergasung von Schweröl, aber auch in anderen Einsatzszenarien, innenverdichteter Drucksauerstoff mit hohen oder sehr hohen Drücken (beispielsweise mit 50 bar und mehr) bereitgestellt werden, gilt dies in besonderer Weise.

[0014] Dies kann zu Problemen führen, die sich mit herkömmlichen Maßnahmen nicht oder nur in nachteiliger Weise beheben lassen, wie unten im Detail erläutert. Die vorliegende Erfindung stellt sich daher die Aufgabe, Möglichkeiten zu schaffen, die es erlauben, in einem HAP-Verfahren eine entsprechende Verdichtung auf einfache und effiziente Weise durchführen zu können.

Offenbarung der Erfindung

[0015] Vor diesem Hintergrund schlägt die vorliegende Erfindung ein Verfahren und eine Anlage zur Tieftemperaturzerlegung von Luft mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vor. Ausgestaltungen sind jeweils Gegenstand der abhängigen Patentansprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0016] Vor der Erläuterung der Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden deren Grundlagen und die verwendeten Begriffe erläutert.

[0017] In Luftzerlegungsanlagen kommen zur Verdichtung der Luft Turboverdichter zum Einsatz. Dies gilt für beispielsweise für den "Haupt(luft)verdichter", der

sich dadurch auszeichnet, dass durch diesen die gesamte in die Luftzerlegungsanlage eingespeiste Luftmenge, also die gesamte "Einsatzluft", verdichtet wird. Ein "Nachverdichter", in dem in MAC/BAC-Verfahren ein Teil der im Hauptluftverdichter verdichteten Luftmenge auf einen nochmals höheren Druck gebracht wird, ist typischerweise ebenfalls als Turboverdichter ausgebildet. Zur (anschließenden) Verdichtung von Teilluftmengen sind typischerweise weitere Turboverdichter vorgesehen, die auch als Booster bezeichnet werden.

[0018] An mehreren Stellen in Luftzerlegungsanlagen wird ferner Luft entspannt, wozu unter anderem Turboexpander zum Einsatz kommen können. Dies gilt insbesondere für die Entspannung eines sogenannten Turbinenstroms, wie unten erläutert. Turboexpander können auch mit Turboverdichtern (Boostern) gekoppelt sein und diese antreiben. Werden ein oder mehrere Turboverdichter ohne extern zugeführte Energie, d.h. nur über einen oder mehrere Turboexpander, angetrieben, wird für eine derartige Anordnung auch der Begriff "Turbinenbooster" verwendet.

[0019] Der mechanische Aufbau von Turboverdichtern und Turboexpandern ist dem Fachmann grundsätzlich bekannt. In einem Turboverdichter erfolgt die Verdichtung der Luft mittels Laufschaufeln, die auf einem Laufrad oder direkt auf einer Welle angeordnet sind. Ein Turboverdichter bildet dabei eine bauliche Einheit, die jedoch mehrere "Verdichterstufen" aufweisen kann. Eine Verdichterstufe umfasst in der Regel ein Laufrad oder eine entsprechende Anordnung von Laufschaufeln. Alle dieser Verdichterstufen können von einer gemeinsamen Welle angetrieben werden. Ein Turboexpander ist grundsätzlich vergleichbar ausgebildet, wobei die Laufschaufeln jedoch durch die expandierende Luft angetrieben werden. Auch hier können mehrere Expansionsstufen vorgesehen sein. Turboverdichter und Turboexpander können als Radial- oder Axialmaschinen ausgebildet sein.

[0020] Ist nachfolgend davon die Rede, dass "die Laufschaufeln" eines Turboverdichters oder Turboexpanders mit einem anderen Element, beispielsweise einem Antriebsrad oder Abtriebsrad "drehfest gekoppelt" sind, bedeutet dies, dass eine mechanische Verbindung zwischen den Laufschaufeln und dem anderen Element besteht. Die Laufschaufeln sind, wie erwähnt, an einem oder mehreren Laufrädern, das oder die drehfest mit einer Welle verbunden sind, oder direkt an einer Welle befestigt, so dass eine direkte Momentenübertragung zwischen Welle und Laufschaufeln möglich ist. Auf diese Weise ist jedes mit der Welle drehfest gekoppelte Element auch mit den Laufschaufeln drehfest gekoppelt. Eine derartige "drehfeste Kopplung" bewirkt eine drehzahlgleiche und drehrichtungsgleiche Rotation der Laufschaufeln und des weiteren Elements, beispielsweise des Antriebsrads oder des Abtriebsrads, um die Achse der Welle. Eine Kopplung über einen Zahnradeingriff hinweg ist keine "drehfeste Kopplung" im erläuterten Sinn.

[0021] Unter einem "Antriebsrad" wird nachfolgend ein

Zahnrad verstanden, das von einer Welle mit einem Drehmoment beaufschlagt wird, indem es insbesondere mit den Laufschaufeln eines Turboexpanders gekoppelt ist. Ein "Abtriebsrad" ist dagegen ein Zahnrad, das seinerseits eine Welle mit einem Drehmoment beaufschlagt, insbesondere die Welle eines Turboverdichters.

[0022] Die vorliegende Anmeldung verwendet zur Charakterisierung von Drücken und Temperaturen die Begriffe "Druckniveau" und "Temperaturniveau", wodurch zum Ausdruck gebracht werden soll, dass entsprechende Drücke und Temperaturen nicht in Form exakter Druck- bzw. Temperaturwerte verwendet werden müssen, um das erfinderische Konzept zu verwirklichen. Jedoch bewegen sich derartige Drücke und Temperaturen typischerweise in bestimmten Bereichen, die beispielsweise $\pm 1\%$, 5% , 10% , 20% oder sogar 50% um einen Mittelwert liegen. Entsprechende Druckniveaus und Temperaturniveaus können dabei in disjunkten Bereichen liegen oder in Bereichen, die einander überlappen. Insbesondere schließen beispielsweise Druckniveaus unvermeidliche oder zu erwartende Druckverluste ein. Entsprechendes gilt für Temperaturniveaus. Bei den hier in bar angegebenen Druckniveaus handelt es sich um Absolutdrücke.

[0023] Um ein HAP-Verfahren effizient gestalten zu können, bzw. um innenverdichteten gasförmigen Drucksauerstoff bei hohen Drücken effizient bereitstellen zu können, wird, wie eingangs erwähnt, ein Luftstrom auf vergleichsweise hohem Druck benötigt. Dieser Druck liegt nochmals deutlich höher als der bei HAP-Verfahren bereits hohe Druck der insgesamt verdichteten Luft und wird typischerweise mittels sogenannter Kaltbooster erzeugt. Unter einem Kaltbooster wird ein Turboverdichter verstanden, der mit Luft auf tiefen Temperaturen, generell unterhalb von 0°C , beschickt wird. Dieser wird vorteilhafterweise mittels eines Turboexpanders angetrieben.

[0024] Eine einstufige Verdichtung des genannten Stroms, der auch als Drosselstrom bezeichnet wird, ist lediglich als hypothetisches Beispiel zur Veranschaulichung in der beigefügten Figur 1 gezeigt. Eine einstufige Verdichtung reicht zur Erzielung der erforderlichen Drücke nicht aus, da das erzielbare Druckverhältnis am Kaltbooster begrenzt ist (das Druckverhältnis Π bei entsprechenden Turboverdichtern liegt in der Regel nicht höher als 1,8 bis 2,0). Außerdem ist der Mengenstrom des entsprechend hoch zu verdichtenden Luftstroms (bei einer energieoptimierten Auslegung wird ein zweiter Luftstrom auf niedrigerem Druckniveau eingesetzt) viel geringer als der Mengenstrom der Luft, die in einem zum Antrieb verwendbaren Turboexpander entspannt wird. Dies würde zu stark unterschiedlichen spezifischen Drehzahlen führen, weshalb eine entsprechende Einheit derzeit nicht baubar ist.

[0025] Dieses Problem könnte grundsätzlich dadurch umgangen werden, dass anstelle eines einstufigen Kaltboosters eine zweistufige Anordnung eingesetzt wird, die zumindest teilweise extern, beispielsweise mit elektri-

scher Energie, angetrieben wird. Dies ist allerdings in der Regel nicht erwünscht, da hierdurch sowohl durch die erforderliche Bereitstellung eines Elektromotors als auch durch die Dimensionierung des lokalen Mittelspannungsnetzes zusätzliche Kosten verursacht würden. Insbesondere HAP-Verfahren können, wie nachfolgend erläutert, vollständig ohne die Verwendung von Elektromotoren zur Verdichtung auskommen, so dass die Bereitstellung eines Elektromotors und der erforderlichen Infrastruktur hier besonders nachteilig wäre. Insbesondere bei großen CTX-Projekten oder in Verfahren zur Vergasung von Schweröl, bei denen Luftzerlegungsanlagen unter Verwendung von HAP-Verfahren betrieben werden, und für die sich die vorliegende Erfindung besonders eignet, müssen bei den verwendeten hohen Luftmengen ohnehin mehrere Turboexpander eingesetzt werden (die gesamte gasförmige Luft für die Rektifikation wird bei einem HAP-Verfahren über entsprechende Turboexpander entspannt), so dass es sich empfiehlt, die Verdichtung des Drosselstroms hierüber, d.h. ohne externe elektrische Energie, vorzunehmen.

[0026] Eine weitere Anordnung ist, ebenfalls lediglich zu Zwecken der Veranschaulichung, in Figur 2 gezeigt und unten erläutert. Eine entsprechende Anordnung wurde zwar im kalten Teil einer entsprechenden Anlage bislang nicht in Erwägung gezogen, ist aber an sich bekannt und wurde bereits bei "warmen" Turbinenboostern eingesetzt, wenn dort sehr unterschiedliche Volumenströme vorliegen. Würde eine derartige Anordnung im "kalten" Teil einer entsprechenden Anlage eingesetzt, wie in Figur 2 gezeigt, blieben die Verhältnisse der Volumenströme insbesondere im Falle des zweiten Kaltboosters, wo ein Enddruck von ca. 57 bar (bei ähnlichem Druck des innenverdichteten Sauerstoffs) erzeugt wird, jedoch zu unausgeglichen, so dass eine derartige Einheit wegen zu unterschiedlichen spezifischen Drehzahlen derzeit ebenfalls nicht baubar ist. Um die beschriebenen Einheiten baubar zu machen, müsste die Menge des Drosselstroms erhöht und die Menge des Turbinenstroms verringert werden. Dadurch verlöre das Verfahren jedoch an Effizienz, da der Enddruck des Drosselstroms geringer ausfallen würde.

[0027] Der vorliegenden Erfindung lag daher die Suche nach einer Anordnung zugrunde, die es erlaubt, eine zweistufige Verdichtung des Drosselstroms bei optimalen Mengenverhältnissen mittels eines Turbinenantriebs zu ermöglichen.

[0028] Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass eine Verdichtungs-/Entspannungsanordnung, in der mehrere (also zwei oder mehr) antreibende Turboexpander parallel und zwei oder mehrere Turboverdichter seriell geschaltet sind, die oben erläuterten Probleme löst. Anstelle eines direkten Antriebs bzw. einer direkten Übertragung über eine Welle wird im Rahmen der Erfindung ein Zwischengetriebe wie unten erläutert eingesetzt. Der Einsatz eines derartigen Zwischengetriebes erlaubt die Entkopplung von spezifischen Drehzahlen und ermöglicht den gewünschten Antrieb. Die erfindungsgemäß

vorgeschlagene Anordnung ähnelt dabei einem sogenannten Compander, in dem ein Turboverdichter mit einem Turboexpander über ein Zwischengetriebe gekoppelt ist. Erfindungsgemäß werden dabei jedoch weder ein Generator noch ein Motor benötigt.

[0029] Die vorliegende Erfindung schlägt ein Verfahren zur destillativen Tieftemperaturzerlegung von Einsatzluft in einem Destillationssäulensystem einer Luftzerlegungsanlage bei unterschiedlichen Destillationsdrücken vor. Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die gesamte Einsatzluft in einer Gesamtluftmenge auf ein erstes Druckniveau verdichtet, das mindestens 4 bis 5 bar oberhalb des höchsten der Destillationsdrücke liegt. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kommt also ein eingangs erläutertes HAP-Verfahren zum Einsatz. Wie erwähnt, kann der höchste der Betriebsdrücke in einem entsprechenden Destillationssäulensystem, d. h. der Betriebsdruck in der (Hoch-) Drucksäule beispielsweise bei 4,3 bis 6,9 bar, beispielsweise bei 5,2 bar, liegen. Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens wird also die gesamte Einsatzluft auf ein Druckniveau verdichtet, das mindestens 4 bis 5 bar über einem derartigen Druck liegt, also beispielsweise mindestens 11, 12, 13, 14, 15 oder 16 bar beträgt. Spezifische Werte sind unten erläutert.

[0030] Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens wird von der erwähnten Gesamtluftmenge eine erste Teilluftmenge zunächst auf ein erstes Temperaturniveau von 130 bis 170 K abgekühlt, typischerweise in einem Hauptwärmetauscher einer entsprechenden Luftzerlegungsanlage, und danach auf ein zweites Druckniveau verdichtet, das mindestens 10 bar oberhalb des ersten Druckniveaus liegt. Die vorliegende Erfindung kommt also in HAP-Verfahren zum Einsatz, bei denen vergleichsweise hohe Drücke erzeugt werden, beispielsweise, um, wie nachfolgend erläutert, innenverdichtete Druckprodukte auf entsprechend hohen Drücken bereitstellen zu können.

[0031] Ferner wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung eine zweite Teilluftmenge zunächst auf ein zweites Temperaturniveau von 110 bis 150 K abgekühlt und danach auf ein drittes Druckniveau entspannt, das unterhalb des ersten Druckniveaus liegt und beispielsweise bei dem höchsten der Destillationsdrücke, also dem Betriebsdruck der Hochdrucksäule, liegen kann. Auch die Abkühlung auf das zweite Temperaturniveau kann in einem Hauptwärmetauscher der Luftzerlegungsanlage erfolgen.

[0032] Wie zuvor erläutert, ergeben sich bei der gleichzeitigen Verdichtung und Entspannung entsprechender Teilluftmengen insbesondere dann Probleme, wenn hierbei die Verdichtung durch bei der Entspannung frei werdende Arbeit durchgeführt werden soll, d. h. wenn auf die Zufuhr externer (elektrischer) Energie verzichtet werden soll. Dies gilt insbesondere dann, wenn sich die erste und die zweite Teilluftmenge deutlich unterscheiden, weil dies, wie erwähnt, zu deutlichen Drehzahlunterschieden führt.

[0033] Die vorliegende Erfindung sieht vor, eine Verdichtungs-/Entspannungsanordnung mit einem Getriebe zu verwenden, in dem ein Antriebsrad mit einem Getrieberad und das Getrieberad mit einem Abtriebsrad in Eingriff steht. Mit dem Antriebsrad sind die Laufschaufeln zweier oder mehrerer Turboexpander und mit dem Abtriebsrad die Laufschaufeln zweier oder mehrerer Turboverdichter im oben erläuterten Sinn drehfest gekoppelt. Die erste Teilluftmenge wird zur Verdichtung auf das zweite Druckniveau nacheinander durch die Turboverdichter und die zweite Teilluftmenge zur Entspannung auf das dritte Druckniveau parallel durch die Turboexpander geführt. Unter einem "parallelen" Führen durch mehrere Turboexpander wird dabei verstanden, dass die zweite Teilluftmenge in zwei oder mehr Teilströme aufgeteilt und jeder der Teilströme durch einen der Turboexpander geführt wird. Durch die Verwendung der Verdichtungs-/Entspannungsanordnung lässt sich das zuvor erläuterte Problem lösen, indem mittels des verwendeten Getriebes die Drehzahlen der jeweils eingesetzten Turboverdichter und Turboexpander aneinander angepasst werden. Durch einen seriellen Einsatz mehrerer Turboverdichter können sehr hohe Druckunterschiede erzeugt werden, die sich mit nur einer Verdichtereinheit nicht erreichen lassen würden. Die Erfindung erlaubt auch die Verwendung von ersten und zweiten Teilluftmengen in deutlich unterschiedlichen Größenordnungen, da durch die Verwendung des Getriebes Drehzahlunterschiede kompensiert werden können. Die durch die Turboverdichter geführte erste Teilluftmenge liegt auf dem erläuterten ersten Temperaturniveau vor. Daher werden die Turboverdichter als Kaltbooster betrieben.

[0034] Dadurch, dass im Rahmen der vorliegenden Erfindung mehrere Turboexpander parallel geschaltet sind, lassen sich die auftretenden mechanischen Belastungen symmetrisch auf diese verteilen und die einzelnen Turboexpander können kleiner und kostengünstiger ausgeführt werden. Besondere Vorteile ergeben sich dabei, wenn zwei Turboverdichter verwendet werden, deren Laufschaufeln beidseitig des Abtriebsrads jeweils mit einer mit dem Abtriebsrad gekoppelten ersten Welle gekoppelt sind. Auf diese Weise lassen sich asymmetrische Belastungen verringern und die Abnutzung reduzieren.

[0035] Vorteilhafterweise ist ein mittels des Antriebsrads auf das Getrieberad übertragenes Drehmoment größer oder gleich einem mittels des Getrieberads auf das Abtriebsrad übertragenen Drehmoment. Es müssen also keine zusätzlichen Antriebe wie ein Elektromotor bereitgestellt werden, die Turboverdichter sind lediglich mittels der Turboexpander antreibbar.

[0036] Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Verdichtungs-/Entspannungsanordnung liegt darin, dass mit dem Getrieberad flexibel weitere antreibende oder angetriebene Zahnräder in Eingriff gebracht werden können und sich daher das Verfahren beliebig erweitern lässt. Beispielsweise können auf diese Weise ein oder mehrere weitere über ein Antriebsrad antreibende Turboexpander und/oder ein oder mehrere durch das Tur-

binenrad über ein Abtriebsrad angetriebene Turboverdichter zum Einsatz kommen. Das Getrieberad selbst ist vorzugsweise nicht drehfest mit Turboexpandern und/oder Turboverdichtern gekoppelt, sondern überträgt vorzugsweise lediglich Drehmomente zwischen Antriebs- und Abtriebsrädern. Mit anderen Worten werden in einer Verdichtungs-/Entspannungsanordnung gemäß der vorliegenden Erfindung das Getrieberad einerseits und die antreibenden bzw. angetriebenen Einheiten andererseits (beispielsweise die Laufschaufeln von Turboexpandern und Turboverdichtern) drehzahlunterschiedlich betrieben. Dies schließt aber nicht aus, dass die antreibenden bzw. angetriebenen Einheiten zueinander drehzahlgleich betrieben werden können.

[0037] Vorteilhafterweise liegt im Rahmen der vorliegenden Erfindung das erste Druckniveau bei 10 bis 17 bar, insbesondere bei 13 bis 16 bar und/oder das zweite Druckniveau bei 40 bis 70 bar, insbesondere bei 50 bis 60 bar. Das zweite Druckniveau liegt also auf vergleichsweise hohen Werten, die den Einsatz eines einzelnen Boosters nicht mehr möglich machen, da in diesem, wie erläutert, der erzielbare Druckunterschied zu gering ist. Dieses Problem wird durch die serielle Verwendung mehrerer Turboverdichter, die erfindungsgemäß mit einem Getriebe gekoppelt sind, gelöst.

[0038] Wie erwähnt, kann das dritte Druckniveau, das unterhalb des ersten Druckniveaus liegt, beispielsweise bei dem höchsten der Destillationsdrücke in der Destillationssäulenordnung liegen, beispielsweise dem Druckniveau, auf dem eine Hochdrucksäule betrieben wird. Mit der Angabe, dass das dritte Druckniveau "bei" dem höchsten der Destillationsdrücke liegt, ist dabei gemeint, dass das dritte Druckniveau um nicht mehr als 1 bar von dem höchsten der Destillationsdrücke der Destillationssäulenordnung abweicht.

[0039] Wie erläutert, eignet sich die vorliegende Erfindung insbesondere dann, wenn sich die jeweiligen Teilluftmengen deutlich voneinander unterscheiden. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die erste Teilluftmenge dem 0,2-fachen bis 0,6-fachen der zweiten Teilluftmenge entspricht und/oder wenn die erste und die zweite Teilluftmenge gemeinsam dem 0,3-fachen bis 0,6-fachen der Gesamtluftmenge entsprechen. Die erwähnten Verhältnisse beziehen sich jeweils auf Normvolumina pro Zeiteinheit, also Normvolumenströme, beispielsweise Normkubikmeter pro Stunde (Nm^3/h). Die Unterschiede in den real vorliegenden Volumenströmen fallen weitaus höher aus, weil stark unterschiedliche Drücke vorliegen. Insbesondere bei deutlich unterschiedlichen ersten und zweiten Teilluftmengen, die dazu führen, dass eine vergleichsweise geringe Menge an Luft verdichtet werden muss, jedoch eine vergleichsweise große Menge an Luft entspannt werden kann, eignet sich das Verfahren der vorliegenden Erfindung aufgrund der Verwendung des erläuterten Getriebes.

[0040] Vorteilhafterweise wird die zweite Teilluftmenge im Rahmen der vorliegenden Erfindung vor dem Abkühlen auf das zweite Temperaturniveau von dem ersten

Druckniveau auf ein Zwischendruckniveau, das unterhalb des zweiten Druckniveaus liegt, verdichtet. Zu diesem Zweck kann beispielsweise ein weiterer Turboverdichter zum Einsatz kommen. Dieser kann von einem (zwecks Bereitstellung der für den Gesamtprozess erforderlichen Kälteleistung vorhandenen) Turboexpander angetrieben werden, der einen weiteren Strom entspannt.

[0041] Besondere Vorteile entfaltet das erfindungsgemäße Verfahren dann, wenn dem Destillationssystem ein flüssiges, sauerstoffreiches Luftprodukt entnommen, flüssig druckerhöht und anschließend durch Erwärmen vom flüssigen in den überkritischen oder gasförmigen Zustand überführt wird, also für Innenverdichtungsverfahren. In derartigen Innenverdichtungsverfahren kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung das flüssige, sauerstoffreiche Luftprodukt flüssig auf das erste Druckniveau oder ein anderes hohes Druckniveau druckerhöht werden. Die Erfindung eignet sich also insbesondere für Verfahren, bei denen entsprechende Innenverdichtungsprodukte bei hohen Drücken bereitgestellt werden sollen.

[0042] Durch die Kombination eines Innenverdichtungsverfahrens mit einem HAP-Verfahren werden im Rahmen der vorliegenden Erfindung besondere Vorteile erzielt. Herkömmliche MA/BAC-Verfahren stoßen bei großen Luftmengen teilweise an ihre Kapazitätsgrenzen. So sind bei Luftzerlegungsanlagen für Sauerstoffkapazitäten oberhalb von $130.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ die Grenzen herkömmlicher Anlagenkomponenten erreicht. Aufgrund des hier vorliegenden niedrigen Drucks der Einsatzluft werden z.B. Adsorberstationen mit Durchmessern von über 6 Metern benötigt und teilweise am Limit gefahren. Auch Montagearbeiten für Rohrleitungen und Klappen mit sehr großen Nennweiten, die bei derart hohen Luftdurchsätzen erforderlich sind, führen zu hohen Kosten. Durch die Verwendung eines HAP-Verfahrens werden solche Probleme aufgrund wesentlich niedrigerer Volumenströme deutlich entschärft, der gesamte "warme" Teil einer Luftzerlegungsanlage fällt deutlich kleiner aus.

[0043] Sowohl bei MAC/BAC-Verfahren als auch bei HAP-Verfahren erfolgt der Antrieb der Luftverdichter typischerweise mittels Dampfturbinen. Die hierbei eingesetzten Dampfturbinen sind typischerweise Zweiwellenturbinen, die zum gleichzeitigen Antrieb von Haupt- und Nachverdichtern (MAC und BAC in MAC/BAC-Verfahren) mittels jeweils einer der Wellen eingerichtet sind. Ein typischerweise zusätzlich erforderlicher Stickstoff-Produktverdichter benötigt bei einem MAC/BAC-Verfahren einen eigenen Antrieb in Form eines Elektromotors. Dieser verursacht zusätzliche Kosten, wie oben erläutert. Daher sind HAP-Verfahren besonders vorteilhaft, weil hier der Produktverdichter direkt über eine der Wellen der Dampfturbine angetrieben werden kann (der Nachverdichter fällt weg). Derartige Anlagen profitieren daher besonders von Lösungen, die keine elektrischen Antriebe erfordern.

[0044] Die vorliegende Erfindung betrifft ferner eine

Luftzerlegungsanlage, die zur destillativen Tieftemperaturzerlegung von Einsatzluft in einem Destillationssäulensystem bei unterschiedlichen Destillationsdrücken eingerichtet ist. Diese Anlage weist Mittel auf, die dafür eingerichtet sind, die gesamte Einsatzluft in einer Gesamtluftmenge auf ein erstes Druckniveau zu verdichten, das mindestens 4 bis 5 bar oberhalb des höchsten der Destillationsdrücke liegt, von der Gesamtluftmenge eine erste Teilluftmenge zunächst auf ein erstes Temperaturniveau von 130 bis 170 K abzukühlen und danach auf ein zweites Druckniveau zu verdichten, das mindestens 10 bar oberhalb des ersten Druckniveaus liegt, und eine zweite Teilluftmenge zunächst auf ein zweites Temperaturniveau von 110 bis 150 K abzukühlen und danach auf ein drittes Temperaturniveau zu entspannen, das unterhalb des ersten Druckniveaus liegt.

[0045] Die Anlage zeichnet sich durch eine Verdichtungs-/Entspannungsanordnung mit einem Getriebe aus, in dem erfindungsgemäß ein Antriebsrad mit einem Getrieberad und das Getrieberad mit einem Abtriebsrad in Eingriff steht. Mit dem Antriebsrad sind die Laufschaufeln zweier oder mehrerer Turboexpander und mit dem Abtriebsrad die Laufschaufeln zweier oder mehrerer Turboverdichter gekoppelt. Es sind Mittel vorgesehen, die dazu eingerichtet sind, die erste Teilluftmenge zur Verdichtung auf das zweite Druckniveau nacheinander durch die Turboverdichter und die zweite Teilluftmenge zur Entspannung auf das dritte Druckniveau parallel durch die Turboexpander zu führen.

[0046] Vorteilhafterweise wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung eine Anordnung eingesetzt, bei der wenigstens ein weiteres Antriebsrad und/oder wenigstens ein weiteres Abtriebsrad mit dem Getrieberad im Eingriff steht. Auf diese Weise lassen sich einfach und flexibel weitere antreibende oder angetriebene Einheiten mit einer entsprechenden Verdichtungs-/Entspannungsanordnung koppeln.

[0047] Insbesondere eignet sich die vorliegende Erfindung für Luftzerlegungsanlagen, bei der die Verdichtungs-/Entspannungsanordnung zwei Turboverdichter umfasst, deren Laufschaufeln beidseitig des Abtriebsrads mit einer mit dem Abtriebsrad gekoppelten ersten Welle gekoppelt sind, und/oder zwei Turboexpander, deren Laufschaufeln beidseitig des Antriebsrads mit einer mit dem Antriebsrad gekoppelten zweiten Welle gekoppelt sind. Auf diese Weise lassen sich, wie bereits erläutert, asymmetrische Belastungen verringern. Mit einer "beidseitigen" Anordnung ist hier wie oben gemeint, dass das Antriebs- oder Abtriebsrad auf einer Welle angeordnet ist, die sich axial beidseitig des Antriebs- oder Abtriebsrads erstreckt. Auf jeder der beiden Seiten kann ein entsprechender Turboverdichter bzw. Turboexpander bzw. können dessen Laufschaufeln angeordnet sein.

[0048] Zu Merkmalen und Vorteilen solchen Luftzerlegungsanlagen, die insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens eingerichtet sind, wie es zuvor im Detail erläutert wurde, sei auf die obigen Erläuterungen verwiesen. Entsprechende Anlagen profitieren von den bezüg-

lich des Verfahrens erläuterten Vorteilen.

[0049] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigelegten Zeichnungen näher erläutert, die bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung zeigen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0050]

In Figur 1 ist eine Luftzerlegungsanlage zur Veranschaulichung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabenstellung in Form eines schematischen Prozessflussdiagramms veranschaulicht.

In Figur 2 ist eine Luftzerlegungsanlage zur Veranschaulichung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabenstellung in Form eines schematischen Prozessflussdiagramms veranschaulicht.

In Figur 3 ist eine Verdichtungs-/Entspannungsanordnung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung schematisch veranschaulicht.

In Figur 4 ist eine nicht erfindungsgemäße Verdichtungs-/Entspannungsanordnung schematisch veranschaulicht.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

[0051] In den Figuren tragen einander entsprechende Elemente identische Bezugszeichen und werden der Übersichtlichkeit halber nicht wiederholt erläutert.

[0052] In Figur 1 ist eine Luftzerlegungsanlage zur Veranschaulichung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabenstellung in Form eines schematischen Prozessflussdiagramms veranschaulicht und insgesamt mit 100 bezeichnet.

[0053] Der Luftzerlegungsanlage 100 wird über ein Filter 1 Einsatzluft (AIR) zugeführt, die mittels eines Hauptluftverdichters 2 verdichtet wird. Die Verdichtung der Einsatzluft in dem Hauptluftverdichter 2 erfolgt dabei auf Druckniveau, das im Rahmen dieser Anmeldung als "erstes" Druckniveau bezeichnet wird und das deutlich höher ist als der maximale Betriebsdruck eines unten erläuterten Destillationssäulensystems 10 der Luftzerlegungsanlage 100. Das in der Luftzerlegungsanlage 100 durchgeführte Verfahren ist also ein HAP-Verfahren wie eingangs erläutert. Das erste Druckniveau beträgt beispielsweise ca. 14,5 bar. Die durch den Hauptluftverdichter 2 verdichtete Luftmenge des Stroms c wird hier als "Gesamtluftmenge" bezeichnet. Diese beträgt beispielsweise ca. 655.000 Nm³/h.

[0054] Ein auf diese Weise bereitgestellter Druckluftstrom a wird in einem Direktkontaktkühler 3 vorgekühlt, welcher unter anderem mit einem abgekühlten Wasserstrom b aus einem Verdunstungskühler 4 beschickt wird. Der Betrieb des Direktkontaktkühlers 3 und des Verduns-

tungskühlers 4 wird nicht näher erläutert. Nach der Kühlung in dem Direktkontaktkühler 3 wird ein entsprechend gekühlter Druckluftstrom, nun mit c bezeichnet, einem Adsorbersatz 5 zugeführt, welcher im dargestellten Beispiel zwei mit einem geeigneten Adsorptionsmaterial gefüllte und im Wechselbetrieb betriebene Adsorberbehälter umfasst und dessen Betrieb ebenfalls nicht im Detail erläutert wird. In dem Verdunstungskühler 4 und dem Adsorbersatz 5 kann zur Kühlung bzw. Regeneration beispielsweise ein Strom d zum Einsatz kommen, der dem Destillationssäulensystem 10 als sogenannter Unrein-
stickstoff entnommen und in geeigneter Weise aufbereitet wird. In diesem Zusammenhang kommt beispielsweise ein Dampferhitzer 6 zum Einsatz.

[0055] Ein in dem Adsorbersatz 5 getrockneter Druckluftstrom ist mit d bezeichnet. Dieser wird im dargestellten Beispiel in zwei Teilströme e und f aufgeteilt. Der Teilstrom e wird anschließend erneut in zwei Teilströme g und h aufgeteilt und warmseitig einem Hauptwärmetauscher 7 zugeführt. Bei dem Teilstrom g handelt es sich um den erläuterten Turbinenstrom, bei dem Teilstrom h um einen (zweiten) Drosselstrom mit geringerem Druck. Der Teilstrom f wird in einer Boosterturbine 8 weiter verdichtet, in einem nicht gesondert bezeichneten Nachkühler abgekühlt, erneut in zwei Teilströme i und k aufgeteilt und warmseitig dem Hauptwärmetauscher 8 zugeführt. Bei dem Teilstrom i handelt es sich um einen nachzuverdichtenden (ersten) Drosselstrom mit höherem Druck, bei dem Teilstrom k um einen zur Bereitstellung von Kälteleistung zu entspannenden Strom.

[0056] Sämtliche Teilströme e bis k umfassen damit jeweils Teilluftmengen der Gesamtluftmenge des Stroms a, c bzw. d. Die von Strom i umfasste Teilluftmenge, beispielsweise ca. 102.000 Nm³/h, wird hier als "erste" Teilluftmenge, die von Strom g umfasste Teilluftmenge, beispielsweise ca. 307.000 Nm³/h, als "zweite" Teilluftmenge der Gesamtluftmenge bezeichnet. Die von Strom h umfasste Teilluftmenge der Gesamtluftmenge beträgt beispielsweise ca. 55.000 Nm³/h. Die Aufteilung ist beliebig und kann, abweichend von dem konkreten Beispiel, auch in anderweitiger Abfolge vorgenommen werden.

[0057] Die Teilströme g, i und k werden dem Hauptwärmetauscher 7 jeweils auf Zwischentemperaturniveaus entnommen, wobei das Zwischentemperaturniveau, auf dem der Teilstrom i dem Hauptwärmetauscher 7 entnommen wird, hier als "erstes" Temperaturniveau und das Zwischentemperaturniveau, auf dem der Teilstrom g dem Hauptwärmetauscher 7 entnommen wird, als "zweites" Temperaturniveau bezeichnet wird. Der Teilstrom h wird dem Hauptwärmetauscher 7 kaltseitig entnommen.

[0058] Die in Figur 1 dargestellte Luftzerlegungsanlage ist zur Bereitstellung von innenverdichtetem Drucksauerstoff auf einem hohen Druckniveau, beispielsweise auf ca. 57 bar, und in einer Menge von beispielsweise ca. 135.000 Nm³/h eingerichtet. Hierzu wird dem Destillationssäulensystem 10 ein flüssiger, sauerstoffreicher

Strom l entnommen, mittels einer Pumpe 9 druckerhöht und in dem Hauptwärmetauscher 7 vom flüssigen in den überkritischen Zustand bei dem erwähnten Druck überführt.

[0059] Aufgrund des vergleichsweise hohen Drucks, bei dem der innenverdichtete Drucksauerstoff des Stroms l in dem Hauptwärmetauscher 7 in den überkritischen Zustand überführt oder verdampft wird, ist entsprechend ein Wärmeträger auf hohem Druck erforderlich. Dieser Wärmeträger wird hier durch den Teilstrom i gebildet, der hierzu weiter verdichtet werden muss.

[0060] Es sei zu verstehen gegeben, dass die in Figur 1 hierzu, und zur gleichzeitigen Entspannung des Teilstroms g, eingesetzte Boosterturbine 101 lediglich theoretisch zum Einsatz kommen könnte, aufgrund der erwähnten Grenzen der in einem entsprechenden Booster erzielbaren Druckverhältnisse jedoch baulich derzeit nicht realisierbar ist. Gleichzeitig ist zu erwarten, dass der antreibende Turboexpander derzeit baulich nicht realisierbar ist.

[0061] Der Teilstrom i müsste nach der Entnahme aus dem Hauptwärmetauscher 7 auf dem ersten Zwischentemperaturniveau mittels der Boosterturbine 101 ausgehend von dem in der Boosterturbine 8 erzielten Druckniveau von beispielsweise ca. 17 bar auf ein Druckniveau von beispielsweise ca. 57 bar verdichtet werden. Ein entsprechendes Druckniveau wird hier als "zweites" Druckniveau bezeichnet.

Der Teilstrom i wird im dargestellten Beispiel dem Hauptwärmetauscher 7 auf einem Zwischentemperaturniveau zugeführt und diesem kaltseitig entnommen. Die Teilströme h und i werden im dargestellten Beispiel stromab des Hauptwärmetauschers 7 auf ein niedrigeres Druckniveau, beispielsweise das Druckniveau einer Drucksäule in der Destillationssäulenordnung 10 von ca. 5,2 bar, entspannt. Hierzu können beispielsweise in der Figur 1 gezeigte, aber nicht gesondert bezeichnete Ventile oder sogenannte Dense Liquid Expander zum Einsatz kommen. Eine Entspannung auf ein derartiges Druckniveau kann auch für die Teilströme g und k in den jeweiligen Entspannungsturbinen der Boosterturbinen 8 bzw. 101 erfolgen.

[0062] Die Teilströme g bis k werden in das mehrfach erwähnte Destillationssäulensystem 10 eingespeist, das hier stark schematisiert und verkleinert dargestellt ist und typischerweise mehrere, auf unterschiedlichen Betriebsdrücken betriebene Destillationssäulen umfasst. Im dargestellten Beispiel sind eine Hochdrucksäule 11 und eine Niederdrucksäule 12 dargestellt, die über einen Hauptkondensator 13 in wärmetauschender Verbindung stehen. Die Hochdrucksäule 11 wird beispielsweise auf dem Druckniveau betrieben, auf das die Ströme g bis k entspannt werden. Die Ströme g bis k werden typischerweise in die Hochdrucksäule 11 eingespeist, es kann jedoch auch teilweise eine Einspeisung in die Niederdrucksäule 12 erfolgen. Die Verschaltung der Hochdrucksäule 11 und der Niederdrucksäule 12 ist nicht im Detail gezeigt, ebenso wenig wie zusätzliche Säulen, Ventile, Pumpen,

Wärmetauscher und dergleichen.

[0063] Das Destillationssäulensystem 10 kann eine beliebige Anzahl entsprechender Säulen umfassen und zur Gewinnung unterschiedlicher Luftprodukte eingerichtet sein. Neben dem bereits erwähnten flüssigen, sauerstoffreichen Strom l zur Bereitstellung von innenverdichtetem Drucksauerstoff (GOX IC) kann dem Destillationssäulensystem 10 beispielsweise ein stickstoffreicher, flüssiger Strom m entnommen werden, der ebenfalls mittels einer Pumpe (ohne Bezugszeichen) druckerhöht und in dem Hauptwärmetauscher 7 in gasförmigen oder überkritischen Zustand überführt werden kann. Weitere stickstoffreiche Ströme n und o können dem Destillationssäulensystem 10 beispielsweise gasförmig aus der Hochdrucksäule 11 entnommen, in dem Hauptwärmetauscher 7 erwärmt und als gasförmiges Stickstoffprodukt (GAN) bzw. Dichtgas für Pumpen (Sealgas) verwendet werden. Der Strom d, der auch teilweise an die Atmosphäre abgeblasen werden kann, wurde bereits erwähnt.

[0064] In Figur 2 ist eine Luftzerlegungsanlage zur Veranschaulichung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabenstellung in Form eines schematischen Prozessflussdiagramms veranschaulicht und insgesamt mit 200 bezeichnet.

[0065] Anhand der in Figur 2 veranschaulichten Luftzerlegungsanlage 200, die im Übrigen der in Figur 1 veranschaulichten Luftzerlegungsanlage 100 entspricht, wird erläutert, dass auch ein Einsatz serieller Booster bzw. paralleler Turboexpander alleine die zuvor erläuterten Probleme nicht löst bzw. technisch nicht realisierbar ist.

[0066] Gemäß Figur 2 würde der Teilstrom i in den Boostern zweier Boosterturbinen 201 und 202 über ein Zwischendruckniveau von beispielsweise ca. 31 bar auf das zuvor erläuterte zweite Druckniveau von beispielsweise ca. 57 bar verdichtet. Der Teilstrom i kann, wie in Figur 2 nicht veranschaulicht, nach dem Austritt aus der Booster der Boosterturbine 201 und vor dem Eintritt in den Booster der Boosterturbine 202 beispielsweise im Hauptwärmetauscher 7 abgekühlt werden, so dass seine Eintrittstemperatur in die Booster der Boosterturbinen 201 und 202 gleich oder ähnlich ist. Entsprechend würde der Teilstrom g auf zwei Teilströme aufgeteilt und in den den Boosterturbinen 201 und 202 zugeordneten Turboexpandern entspannt. Die Turboexpander müssten dabei nur noch jeweils die Hälfte der "zweiten" Teilluftmenge des Stroms g, im dargestellten Beispiel also jeweils beispielsweise ca. 153.000 Nm³/h, verarbeiten. Dennoch wäre der Volumenstrom durch den Booster der Boosterturbine 202 ist immer noch zu klein für den Volumenstrom durch den entsprechenden Turboexpander und damit die spezifischen Drehzahlen sind zu unterschiedlich, so dass diese Lösung ebenfalls nicht realisierbar ist.

[0067] In Figur 3 ist eine Verdichtungs-/Entspannungsanordnung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung schematisch veranschaulicht und insgesamt mit 30 be-

zeichnet. Die Verdichtungs-/Entspannungsanordnung 30 kann anstelle der Boosterturbine 101 bzw. der Boosterturbinen 201 und 202 in eine Luftzerlegungsanlage 100 bzw. 200 gemäß den Figuren 1 und 2 eingebunden sein. Die Einbindung ergibt sich durch die entsprechende Benennung der Teilströme g und i. Es handelt sich jeweils um die Ströme g und i stromab des Hauptwärmetauschers 7.

[0068] Die erwähnte erste Teilluftmenge der Gesamtluftmenge, wie erwähnt beispielsweise ca. 102.000 Nm³/h auf einem Druckniveau von ca. 17 bar, wird in Form des Teilstroms i nacheinander durch zwei Turboverdichter 31 und 32 geführt und hierdurch auf das erwähnte zweite Druckniveau von beispielsweise ca. 57 bar verdichtet. Der Druck des Teilstroms i zwischen den Turboverdichtern 31 und 32 beträgt dabei beispielsweise ca. 31 bar. Zwischen den Turboverdichtern 31 und 32 kann eine Abkühlung des Stroms i in dem Hauptwärmetauscher 7 oder anderweitig erfolgen. Die zweite Teilluftmenge der Gesamtluftmenge, wie erwähnt beispielsweise ca. 307.000 Nm³/h auf einem Druckniveau von ca. 14,5 bar, wird in Form des Teilstroms g auf zwei Teilströme aufgeteilt und parallel in zwei Turboexpandern 33 und 34 entspannt, wie erwähnt auf beispielsweise ca. 5,2 bar.

[0069] Die Turboverdichter 31 und 32 und die Turboexpander 33 und 34 sind jeweils über Wellen 35 bzw. 36 miteinander verbunden. Auf der Welle 35 der Turboverdichter 31 und 32 ist ein Abtriebsrad 37 angebracht, auf der Welle 37 der Turboexpander 33 und 34 ein Antriebsrad 38. Sowohl mit dem Abtriebsrad 37 als auch mit dem Antriebsrad 38 steht ein Getrieberad 39 im Eingriff.

[0070] Ein durch die parallele Entspannung der Teilströme des Stroms g in den Turboexpandern 33 und 34 in die Welle 36 eingelegitetes Drehmoment kann über das Antriebsrad 38 auf das Getrieberad 39 und von diesem über das Abtriebsrad 37 in die Welle 35 eingelegt werden. Durch eine geeignete Wahl der Zahnzahl und der Geometrie des Antriebsrads 38, des Getrieberads 39 und des Abtriebsrads 37 kann sichergestellt werden, dass die, wie erwähnt, stark unterschiedlichen Volumenströme in den Turboexpandern 31 und 32 einerseits und in den Turboverdichtern 33 und 34 andererseits problemlos bewältigt werden können.

[0071] In Figur 4 ist eine nicht erfindungsgemäße Verdichtungs-/Entspannungsanordnung schematisch veranschaulicht und insgesamt mit 40 bezeichnet. Auch Verdichtungs-/Entspannungsanordnung 40 kann anstelle der Boosterturbine 101 bzw. der Boosterturbinen 201 und 202 in eine Luftzerlegungsanlage 100 bzw. 200 gemäß den Figuren 1 und 2 eingebunden sein. Die Einbindung ergibt sich auch hier durch die entsprechende Benennung der Teilströme g und i. Es handelt sich jeweils um die Ströme g und i stromab des Hauptwärmetauschers 7.

[0072] Bereits unter Bezugnahme auf die Verdichtungs-/Entspannungsanordnung 30 der Figur 3 erläuterte Elemente der Verdichtungs-/Entspannungsanord-

nung 40 sind mit identischen Bezugszeichen wie dort angegeben. Abweichend zu der in Figur 3 dargestellten Verdichtungs-/Entspannungsanordnung 30 weist jedoch die Verdichtungs-/Entspannungsanordnung 40 der Figur 4 nur einen Turboexpander 33 auf. Dies verringert die Anzahl an bereitzustellenden Komponenten, setzt jedoch voraus, dass ein entsprechender Turboexpander 33 in der erforderlichen Größe und vor dem Hintergrund der auftretenden mechanischen Belastungen technisch realisierbar ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur destillativen Tieftemperaturzerlegung von Einsatzluft in einem Destillationssäulensystem (10) einer Luftzerlegungsanlage bei unterschiedlichen Destillationsdrücken, wobei die gesamte Einsatzluft in einer Gesamtluftmenge auf ein erstes Druckniveau verdichtet wird, das mindestens 4 bis 5 bar oberhalb des höchsten der Destillationsdrücke liegt, und von der Gesamtluftmenge

- eine erste Teilluftmenge zunächst auf ein erstes Temperaturniveau von 130 bis 170 K abgekühlt und danach auf ein zweites Druckniveau verdichtet wird, das mindestens 10 bar oberhalb des ersten Druckniveaus liegt, und

- eine zweite Teilluftmenge zunächst auf ein zweites Temperaturniveau von 110 bis 150 K abgekühlt und danach auf ein drittes Druckniveau entspannt wird, das unterhalb des ersten Druckniveaus liegt, wobei

- eine Verdichtungs-/Entspannungsanordnung (30, 40) mit einem Getriebe verwendet wird, in dem ein Antriebsrad (38) mit einem Getrieberad (39) und das Getrieberad (39) mit einem Abtriebsrad (37) in Eingriff steht, wobei

- mit dem Antriebsrad (38) die Laufschaufeln zweier oder mehrerer Turboexpander (33, 34) und mit dem Abtriebsrad (37) die Laufschaufeln zweier oder mehrerer Turboverdichter (31, 32) drehfest gekoppelt sind, und

- die erste Teilluftmenge zur Verdichtung auf das zweite Druckniveau nacheinander durch die Turboverdichter (31, 32) und die zweite Teilluftmenge zur Entspannung auf das dritte Druckniveau parallel durch die Turboexpander (33, 34) geführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem ein mittels des Antriebsrads (38) auf das Getrieberad (39) übertragenes Drehmoment größer oder gleich einem mittels des Getrieberads auf das Abtriebsrad (37) übertragenen Drehmoment ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem als die Turboverdichter (31, 32) zwei Turboverdichter (31,

32) verwendet werden, deren Laufschaufeln beidseitig des Abtriebsrads (37) jeweils mit einer mit dem Abtriebsrad (37) gekoppelten ersten Welle (35) gekoppelt sind.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das erste Druckniveau bei 10 bis 17 bar, insbesondere bei 13 bis 16 bar, liegt und/oder bei dem das zweite Druckniveau bei 40 bis 70 bar, insbesondere bei 50 bis 60 bar, liegt.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das dritte Druckniveau um nicht mehr als 1 bar von dem höchsten der Destillationsdrücke in der Destillationssäulenordnung (10) abweicht.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem ein Normvolumenstrom der ersten Teilluftmenge dem 0,2-fachen bis 0,5-fachen eines Normvolumenstroms der zweiten Teilluftmenge entspricht und/oder bei dem Normvolumenströme der ersten und zweiten Teilluftmenge gemeinsam dem 0,4-fachen bis 0,6-fachen eines Normvolumenstroms der Gesamtluftmenge entspricht.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die zweite Teilluftmenge vor dem Abkühlen auf das zweite Temperaturniveau von dem ersten Druckniveau auf ein Zwischendruckniveau, das unterhalb des zweiten Druckniveaus liegt, verdichtet wird.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem dem Destillationssäulensystem ein flüssiges, sauerstoffreiches Luftprodukt entnommen, flüssig druckerhöht und anschließend durch Erwärmen vom flüssigen in den überkritischen oder gasförmigen Zustand überführt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem das flüssige, sauerstoffreiche Luftprodukt flüssig auf das erste Druckniveau druckerhöht wird.

10. Luftzerlegungsanlage (100, 200), die zur destillativen Tieftemperaturzerlegung von Einsatzluft in einem Destillationssäulensystem (10) bei unterschiedlichen Destillationsdrücken eingerichtet ist, wobei Mittel vorgesehen sind, die dafür eingerichtet sind, die gesamte Einsatzluft in einer Gesamtluftmenge auf ein erstes Druckniveau zu verdichten, das mindestens 5 bar oberhalb des höchsten der Destillationsdrücke liegt, und von der Gesamtluftmenge

- eine erste Teilluftmenge zunächst auf ein erstes Temperaturniveau von 130 bis 170 K abzukühlen und danach auf ein zweites Druckniveau zu verdichten, das mindestens 10 bar oberhalb

des ersten Druckniveaus liegt, und

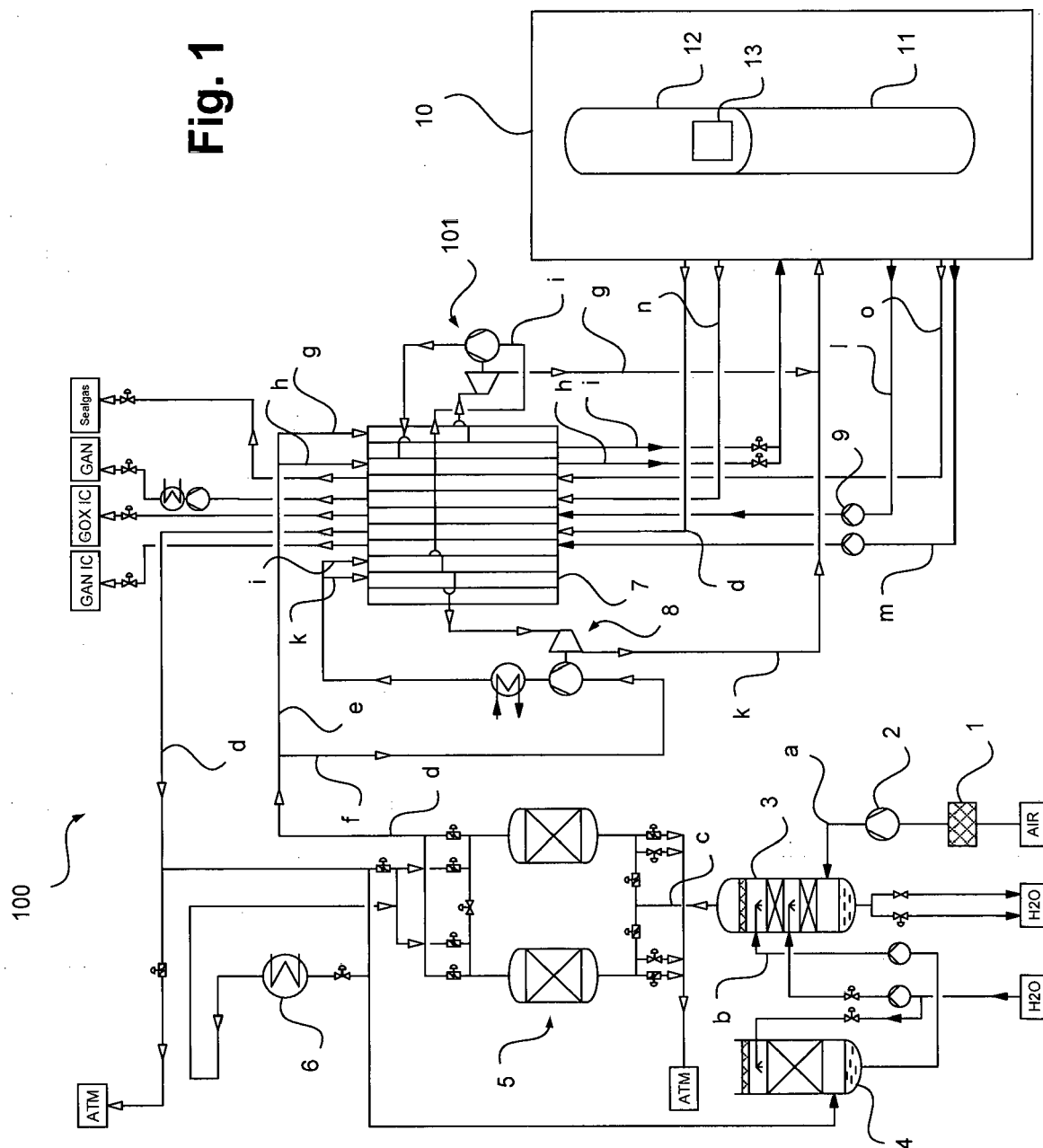
- eine zweite Teilluftmenge zunächst auf ein zweites Temperaturniveau von 110 bis 150 K abzukühlen und danach auf ein drittes Druckniveau zu entspannen, das unterhalb des ersten Druckniveaus liegt, wobei 5
- eine Verdichtungs-/Entspannungsanordnung (30, 40) mit einem Getriebe, in dem ein Antriebsrad (38) mit einem Getrieberad (39) und das Getrieberad (39) mit einem Abtriebsrad (37) in Eingriff steht, wobei 10
- mit dem Antriebsrad (38) die Laufschaufeln zweier oder mehrerer Turboexpander (33, 34) und mit dem Abtriebsrad (37) die Laufschaufeln zweier oder mehrerer Turboverdichter (31, 32) drehfest gekoppelt sind, und 15
- Mittel bereitgestellt sind, die dafür eingerichtet sind, die erste Teilluftmenge zur Verdichtung auf das zweite Druckniveau nacheinander durch die Turboverdichter (31, 32) und die zweite Teilluftmenge zur Entspannung auf das dritte Druckniveau parallel durch die Turboexpander (33, 34) zu führen. 20

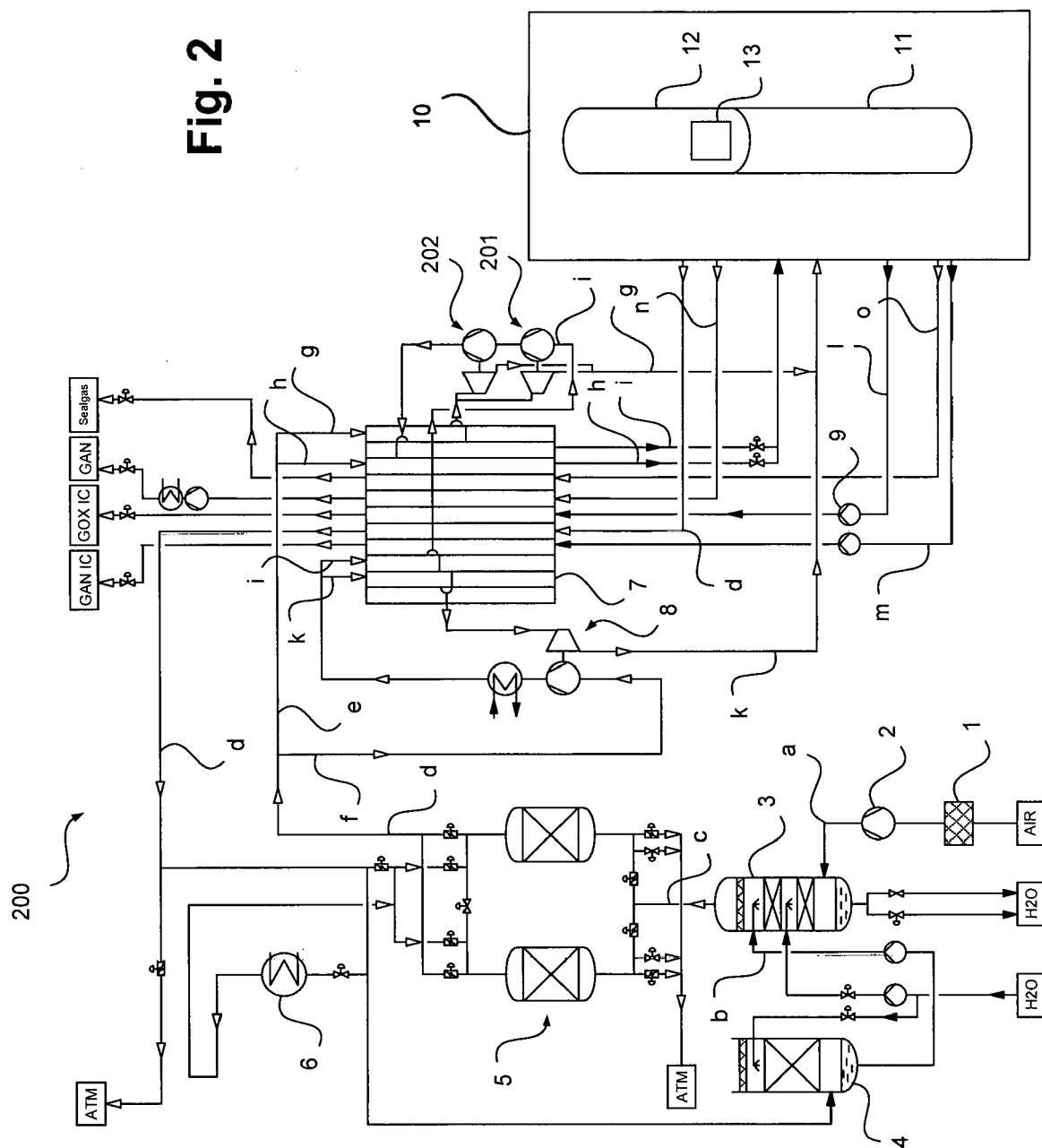
11. Luftzerlegungsanlage (100, 200) nach Anspruch 10, bei der wenigstens ein weiteres Antriebsrad und/oder wenigstens ein weiteres Abtriebsrad mit dem Getrieberad (39) in Eingriff steht. 25
12. Luftzerlegungsanlage (100, 200) nach Anspruch 10 oder 11, bei der zwei Turboverdichter (31, 32) vorgesehen sind, deren Laufschaufeln beidseitig des Abtriebsrads (37) jeweils mit einer mit dem Abtriebsrad (37) gekoppelten ersten Welle (35) gekoppelt sind. 30 35
13. Luftzerlegungsanlage (100, 200) nach einem der Ansprüche 10 bis 12, bei der zwei Turboexpander (33, 34) vorgesehen sind, deren Laufschaufeln beidseitig des Antriebsrads (38) jeweils mit einer mit dem Antriebsrad (38) gekoppelten zweiten Welle (36) gekoppelt sind. 40
14. Luftzerlegungsanlage (100, 200) nach einem der Ansprüche 10 bis 13, die zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 eingerichtet ist. 45

50

55

Fig. 1





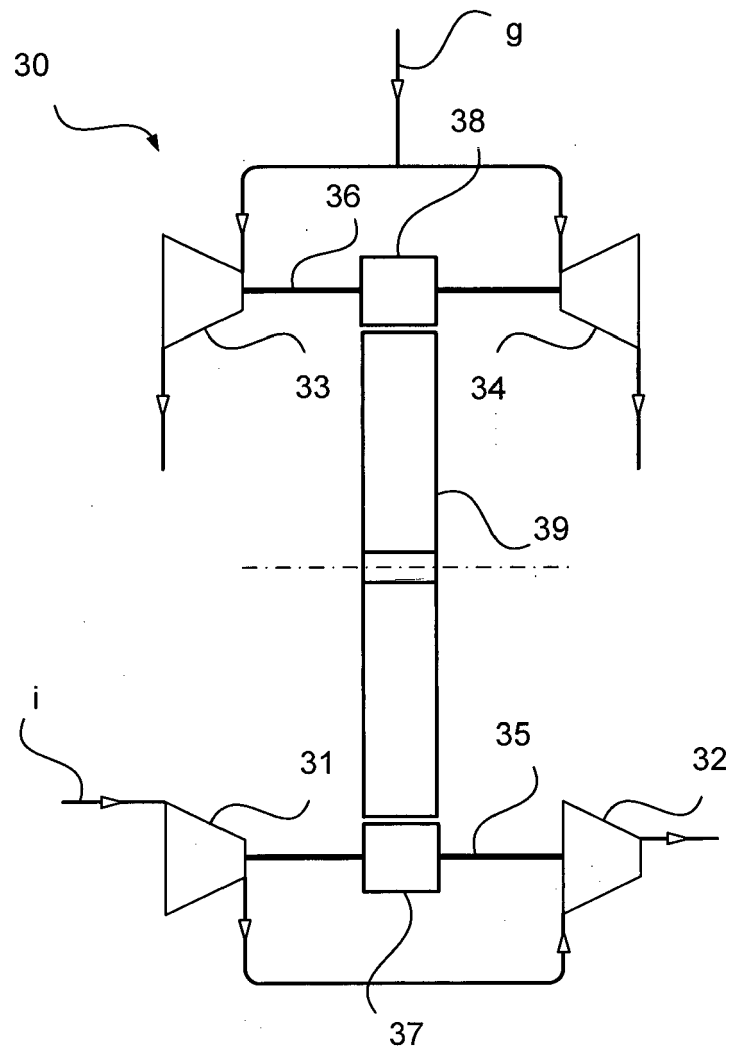


Fig. 3

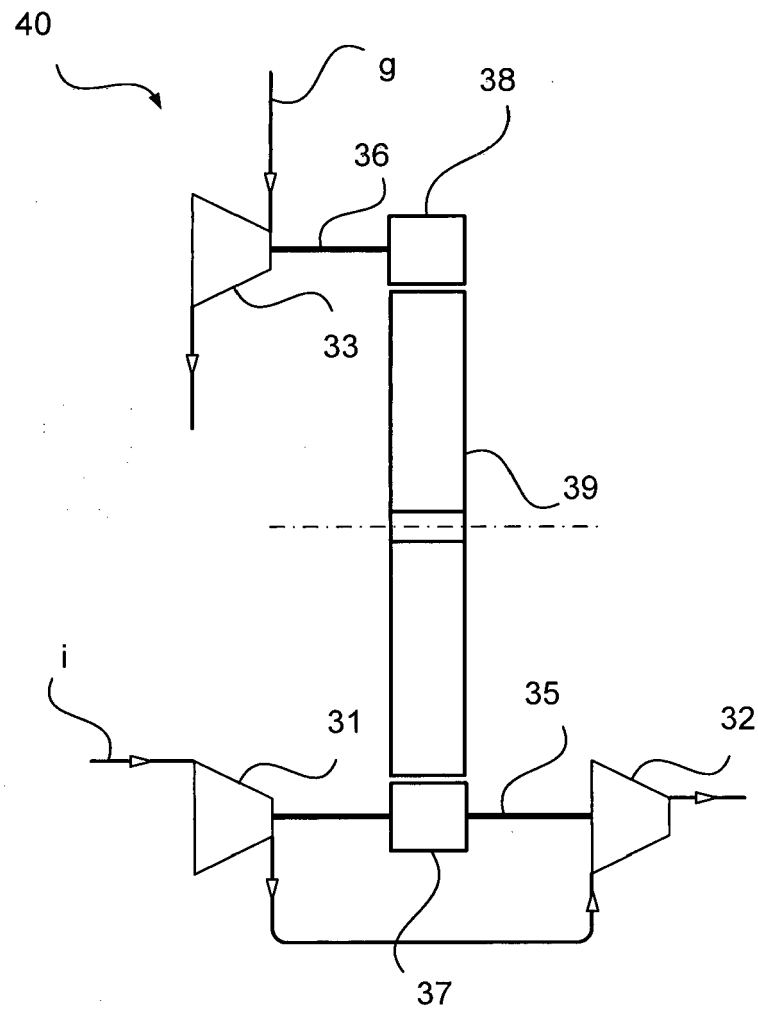


Fig. 4

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 Patentedokumente

- EP 2466236 A1 [0009]
- EP 2458311 A1 [0009]
- US 5329776 A [0009]
- US 5901579 A [0010]
- EP 2634517 A1 [0010]
- EP 2520886 A1 [0010]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

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