(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 0 949 471 A1

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
13.10.1999 Patentblatt 1999/41

(51) Int. Cl.[6]: **F25J 3/04**

(21) Anmeldenummer: **99106715.8**

(22) Anmeldetag: **01.04.1999**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: **08.04.1998 DE 19815885**
02.07.1998 EP 98112276

(71) Anmelder:
Linde Aktiengesellschaft
65189 Wiesbaden (DE)

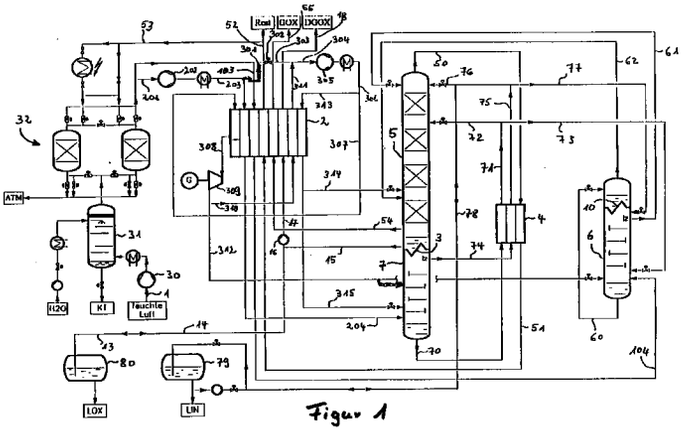
(72) Erfinder:
Voit, Jürgen, Dipl.-Phys.
86938 Schondorf (DE)

(74) Vertreter: **Kasseckert, Rainer**
Linde Aktiengesellschaft,
Zentrale Patentabteilung
82049 Höllriegelskreuth (DE)

(54) Luftzerlegungsanlage mit zwei verschiedenen Betriebsmodi

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von gasförmigem Druckprodukt durch Tieftemperaturzerlegung von Luft, das zeitweise in einem Gasbetrieb und zeitweise in einem kombinierten Betrieb betrieben wird, wobei im Gasbetrieb und im kombinierten Betrieb (a) gereinigte Einsatzluft unter Überdruck abgekühlt, teilweise verflüssigt und zur Gewinnung gasförmiger und flüssiger Fraktionen einer Rektifikation unterzogen wird, (b) tiefkalte Flüssigkeit mindestens einer der flüssigen Fraktionen aus der Rektifikation unter erhöhtem Druck durch indirekten Wärmeaustausch mit Einsatzluft verdampft, angewärmt und als gasförmiges Druckprodukt gewonnen wird, wobei im kombinierten Betrieb (c) die hierzu benötigte Kälte in einem Luft-Kältekreislauf erzeugt wird, indem Luft in dem Kältekreislauf verdichtet und arbeitsleistend entspannt wird, der Luft hierbei Wärme entzogen wird und die arbeitsleistend entspannte Luft mindestens zum Teil im Gegenstrom mit der abzukühlenden Einsatzluft wieder angewärmt und dann rückverdichtet wird, (d) tiefkalte Flüssigkeit erzeugt und mindestens zum Teil gespeichert wird. Die Erfindung betrifft außerdem eine Vorrichtung hierzu.

Erfindungsgemäß wird beim Gasbetrieb der Luftdurchsatz im Kältekreislauf auf Null reduziert und zu einer Kompensation von Kälteverlusten, die nicht mehr durch den Kältekreislauf gedeckt werden, tiefkalte gespeicherte Flüssigkeit verwendet. Bei der Vorrichtung sind in einer Verdichterstation für Kreislaufluft und Drosselluft der (die) Verdichter für die Lieferung der Kreislaufluft beim Gasbetrieb ausgeschaltet.



Figur 1

EP 0 949 471 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von gasförmigem Druckprodukt durch Tieftemperaturzerlegung von Luft, das zeitweise in einem Gasbetrieb und zeitweise in einem kombinierten Betrieb betrieben wird, wobei im Gasbetrieb und im kombinierten Betrieb

- gereinigte Einsatzluft unter Überdruck abgekühlt, teilweise veflüssigt und zur Gewinnung gasförmiger und flüssiger Fraktionen einer Rektifikation unterzogen wird,
- tiefkalte Flüssigkeit mindestens einer der flüssigen Fraktionen aus der Rektifikation unter erhöhtem Druck durch indirekten Wärmeaustausch mit Einsatzluft verdampft, angewärmt und als gasförmiges Druckprodukt gewonnen wird,

wobei im kombinierten Betrieb

- die hierzu benötigte Kälte in einem Luft-Kältekreislauf erzeugt wird, indem Luft in dem Kältekreislauf verdichtet und arbeitsleistend entspannt wird, der Luft hierbei Wärme entzogen wird und die arbeitsleistend entspannte Luft mindestens zum Teil im Gegenstrom mit der abzukühlenden Einsatzluft wieder angewärmt und dann rückverdichtet wird,
- tiefkalte Flüssigkeit erzeugt und mindestens zum Teil gespeichert wird

[0002] Die Erfindung betrifft außerdem eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens mit

- einem Hauptverdichter für Einsatzluft, wobei der Austrittsdruck des Hauptluftverdichters auch Arbeitsdruck einer folgenden Reinigungseinheit ist,
- einer Reinluftleitung aus der Reinigungseinheit zu einer Verdichterstation für die Luft im Kältekreislauf und für die Luftzufuhr zur Rektifikation
- und einer druckseitigen Leitung aus der Verdichterstation, die einerseits in einen Leitungsstrang des Kältekreislaufs mit mindestens einer Kälteturbine mündet und andererseits in eine Abzweigung für Drosselluft zu den Säulen.

[0003] Aus der Schrift EP 0 044 679 A1 ist ein Verfahren zur Erzeugung von gasförmigem Drucksauerstoff (DGOX) und geringer Mengen Flüssigsauerstoff (LOX) bekannt: Kälte für die Luftzerlegung und die Erzeugung von Flüssigprodukt liefert ein Luftkältekreislauf. Er enthält eine Verdichtung mit zwei Kompressorstufen in Serie zur Verdichtung eines Luftstromes in der ersten Stufe auf einen mittleren Druck für eine arbeitsleistende Entspannung eines Teilstromes dieser Luft auf einen unteren Druck und eine zweite Kompressorstufe zur Verdichtung des restlichen Luftstromes auf einen höheren Druck für eine Drosselentspannung auf den gleichen niedrigen Druck. Nach Zusammenführung der Teilströme und Abzweigen einer gebildeten Flüssigphase wird die Gasphase zur Verdichtung rezykliert und die Flüssigphase nach Aufteilung in zwei Drosselströme einer Rektifikation zugeführt. Der Kältekreislauf kann bei einem solchen Verfahren nicht abgeschaltet werden und ein Zurückfahren der Kälteleistung führt zu einem energetisch ungünstigen Betrieb.

[0004] Aufgabe der Erfindung ist ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art mit einer energetisch günstigen Erzeugung des gasförmigen Druckprodukts und des Flüssigprodukts jeweils in variablen Mengen und bei hoher Verfügbarkeit der Erzeugung des Druckprodukts.

[0005] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst von einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und von einer Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 8. Ausführungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

[0006] Kennzeichnend an dem erfindungsgemäßen Verfahren ist, daß beim Gasbetrieb der Luftdurchsatz im Kältekreislauf auf Null reduziert wird und zu einer Kompensation von Kälteverlusten, die nicht mehr durch den Kältekreislauf gedeckt werden, tiefkalte gespeicherte Flüssigkeit verwendet wird. Dies ermöglicht die Erzeugung von gasförmigem Druckprodukt auch bei vollem Flüssigproduktttank, indem beispielsweise gespeichertes Flüssigprodukt in einem Wärmeaustauscher im Gegenstrom zur eingesetzten Luft geführt wird, diese Luft dabei abgekühlt, teilweise verflüssigt und der Rektifikation zugeführt wird oder indem gespeicherte Flüssigkeit direkt der Rektifikation zugeführt wird.

[0007] Tiefkalte Flüssigkeit mindestens einer flüssigen Fraktion aus der Rektifikation, beispielsweise Flüssigstickstoff (LIN), Flüssigsauerstoff (LOX) oder flüssige Luft, zur Kompensation von Kälteverlusten im Gasbetrieb kann in einem Tank zwischengespeichert werden, wobei als Tank zum Speichern dieser Fraktionen Pufferbehälter und/oder Produkttanks verwendet werden. Meist ist die Nutzung von Produkttanks die günstigste Lösung, während flüssige Luft eher einen Pufferbehälter erfordert, da flüssige Luft als Produkt meist keine Rolle spielt.

[0008] Zeitweise kann unter Verwendung mindestens zweier Tanks eine Wechselspeicherung vorgenommen werden, wobei einerseits bei erhöhtem Drucksauerstoff (DGOX)-Bedarf zusätzlich zum LOX aus der Rektifikation aus dem einen Tank zwischengespeichertes LOX entnommen, verdichtet, im Gegenstrom verdampft und angewärmt und dann als DGOX-Produkt abgeben wird und hierbei im Gegenstrom Kälte zurückgewonnen und zur Erzeugung und Zwischenspeicherung von LIN-Produkt verwendet wird, wobei andererseits bei niedrigem DGOX-Bedarf entsprechend wenig

LOX aus dem Rektifiziersystem als DGOX abgegeben und dafür mehr LOX zwischengespeichert wird. Der Vorteil besteht darin, daß zeitweise mehr DGOX geliefert wird als nach Auslegung der Luftzerlegung möglich wäre, indem gespeichertes LOX entnommen und dem Kälteinhalt des LOX entsprechend LIN gespeichert wird.

[0009] Zur Rektifikation kann ein Zweisäulenverfahren eingesetzt werden, wobei eine Kopfkühlung der Drucksäule mit einer Zwischenflüssigkeit aus einer Niederdrucksäule bewerkstelligt und eine Sumpfheizung der Niederdrucksäule durch indirekten Wärmeaustausch mit Luft vorgenommen wird. Das Zweisäulenverfahren ist aus DE 196 09 490 A1 bekannt und eignet sich besonders, wenn nur eine geringe Sauerstoffreinheit erforderlich ist.

[0010] Als Rektifiziersystem kann alternativ auch ein Dreisäulenverfahren eingesetzt werden, wobei eine Doppelsäule mit einem Hochdruckteil und einem Niederdruckteil und eine Zusatzsäule unter Zwischendruck eingesetzt wird. Das Dreisäulenverfahren ist aus DE 195 37 913 A1 bekannt. Auch bei Sauerstoffreinheiten > 99,5 mol % sind mit diesem Verfahren Energieeinsparungen möglich.

[0011] Bei der Gewinnung von gasförmigem Druckprodukt durch Verdampfen und Anwärmen von Flüssigkeit unter Druck, auch Innenverdichtung genannt, im Gegenstrom mit warmer Luft, kann Luft auf dem oberen Druckniveau der Verdichtung im Kältekreislauf verwendet werden oder solche, die von diesem Druckniveau ausgehend nachverdichtet wird.

[0012] Die arbeitsleistende Entspannung kann in mindestens einer Kälteturbine erfolgen, wobei die Leistung an der Welle einer solchen Turbine zum Antrieb entweder eines stromerzeugenden Generators oder eines Boosters verwendet wird, wobei der Booster beispielsweise zum Nachverdichten der Luft im Kältekreislauf eingesetzt wird. In beiden Fällen wird die Energie der Kälteturbine günstig genutzt.

[0013] Kennzeichnend an der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist, daß die Verdichterstation mit mindestens zwei parallel angeordneten Verdichtem ausgeführt ist, die so ausgelegt sind, daß im Gasbetrieb nur einer der Verdichter in Betrieb ist, wobei dieser Verdichter Drosselluft liefert und der Kältekreislauf nicht mit Luft beaufschlagt ist, während im Betrieb mit Erzeugung von Druckprodukt und Flüssigprodukt mindestens zwei parallel angeordnete Verdichter in Betrieb sind und zusätzlich zum Liefem von Drosselluft auch der Kältekreislauf mit Luft beaufschlagt ist. Eine solche Verdichterstation besitzt mehrere Vorteile. Für den Gasbetrieb wird ein Verdichter an seinem energetisch günstigsten Betriebspunkt, bei zusätzlicher Erzeugung von Flüssigprodukt werden mehrere, beispielsweise zwei Verdichter nahe ihrem optimalen Betriebspunkt eingesetzt. Mit mehreren Verdichtem wird außerdem gleichzeitig eine Maschinenredundanz geschaffen, die die Versorgungssicherheit im Gasbetrieb entsprechend erhöht. Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß mit einem Verdichter, als Kreislaufverdichter betrieben, auch energetisch günstig Flüssigprodukt erzeugt werden kann und daß dieser Flüssigbetrieb durch die Maschinenredundanz ebenfalls mit hoher Versorgungssicherheit ermöglicht wird.

[0014] Die Kälteturbine im Leitungsstrang des Kältekreislaufs kann als Turbinen/Generator-Einheit ausgebildet sein. Die in der Kälteturbine gewonnene Energie wird in das örtliche Stromnetz eingespeist.

[0015] Die Kälteturbine im Leitungstrang des Kältekreislaufs kann als Turbinen/Booster-Einheit ausgebildet sein, wobei der Booster im Leitungsstrang des Kältekreislaufs als Nachverdichter von Luft aus der Verdichterstation geschaltet ist. Die in der Kälteturbine gewonnene Energie wird, beispielsweise über eine gemeinsame Welle mit einem Booster zum Antrieb dieses Boosters verwendet.

[0016] Im Leitungsstrang für die Drosselluft kann ein Nachverdichter für Luft aus der Verdichterstation angeordnet sein.

[0017] Eine vorteilhafte Anwendung erfährt das Verfahren und die Vorrichtung gemäß Erfindung in einer Luftzerlegungsanlage zur Belieferung eines Stahlwerks mit Stickstoff und Sauerstoff.

[0018] Energetisch günstig kann mit hoher Versorgungssicherheit dem wechselnden Bedarf des Stahlwerks an gasförmigem Druckprodukt Rechnung getragen werden. Die Erfindung sowie weitere Ausgestaltungen der Erfindung werden im folgenden anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

[0019] Hierbei zeigen:

Figur 1 ein Ausführungsbeispiel der Erfindung mit Dreisäulen-Rektifikation und Turbinen/Generator-Einheit,
Figur 2 eine Ausführung mit Dreisäulen-Rektifikation, Turbinen/Booster-Einheit und Drosselluft-Nachverdichtung,
Figur 3 ein Ausführungsbeispiel der Erfindung mit Zweisäulen-Rektifikation und Turbinen/Generator-Einheit und
Figur 4 eine Ausführung mit Zweisäulen-Rektifikation, Turbinen/Booster-Einheit und Drosselluft-Nachverdichtung.

Figur 1

[0020] In Figur 1 wird zu zerlegende Luft bei 1 angesaugt und in einem Luftverdichter 30 auf einen ersten Druck im wesentlichen Mitteldrucksäulendruck (plus Leitungsverluste) verdichtet, in einer Kühleinrichtung 31 in direktem Kontakt mit Wasser vorgekühlt und in einer Reinigungseinrichtung (Molsiebanlage) 32 insbesondere von Wasser und Kohlendioxid befreit.

[0021] Die gereinigte Luft wird in drei Teilströme aufgeteilt, von denen der erste ohne weitere druckerhöhende Maß-

nahmen über Leitung 103, durch einen Hauptwärmetauscher 2 und über Leitung 104 in eine Mitteldrucksäule 6 eingeführt wird. Die Mitteldrucksäule 6 wird - entsprechend der jeweiligen Produktspezifikation und den Druckverlusten - unter einem Druck von 2 bis 4 bar, vorzugsweise etwa 2,5 bis 3,5 bar betrieben.

[0022] Der zweite Teilstrom der gereinigten Luft wird in einem Nachverdichter 202 auf im wesentlichen Drucksäulendruck (plus Leitungsverluste) verdichtet, im Hauptwärmetauscher 2 in indirektem Wärmeaustausch mit kalten Verfahrensströmen auf Taupunktstemperatur abgekühlt und in den Sumpf einer Drucksäule 7 eingeführt (siehe Positionen 201,202,203,2,204 und 7). Die Drucksäule 7 wird bei einem Arbeitsdruck von 5 bis 10 bar, vorzugsweise 5,5 bis 6,5 bar betrieben und ist über einen Hauptkondensator 3 mit einer Niederdrucksäule 5 thermisch gekoppelt. Letztere arbeitet bei einem Druck von 1,1 bis 2,0 bar vorzugsweise 1,3 bis 1,7 bar. Der Luftnachverdichter 202 kann von derselben Motorwelle angetrieben werden wie der Luftverdichter 30.

[0023] Der dritte Teilstrom wird über eine Leitung 301 einer Verdichterstation 305 für Turbinenluft (306, 307, 308) in eine Turbine 309 und/oder für Rektifikationsluft (313, 314, 315) zugeführt, wobei der Ansaugdruck 303 mit Hilfe einer Drosselvorrichtung 302 vermindert werden kann insbesondere bei Unterlastbetrieb.

[0024] Die Luft des dritten Teilstroms wird in der Verdichterstation 305 von etwa Mitteldrucksäulendruck auf einen Druck komprimiert, der einer Luft-Kondensationstemperatur entspricht, die mindestens etwa gleich der Verdampfungstemperatur des flüssigen Drucksauerstoffs 17 ist. Alternativ kann der dritte Teilstrom der gereinigten Luft auch an der Druckseite des Luftnachverdichters 202 abgezweigt werden, wenn gleichzeitig Luft (312) aus der Entspannungsturbine 309 in die Drucksäule 7 eingespeist wird. Der Ansaugdruck der Verdichterstation 305 entspricht dann dem Drucksäulendruck.

[0025] Ein erster Teil 307 der hochverdichteten Luft 306 wird bei einer Temperatur 308, die zwischen den Temperaturen am warmen und am kalten Ende des Hauptwärmetauschers 2 liegt, der Entspannungsturbine 309 zugeleitet und dort auf etwa Mitteldrucksäulendruck arbeitsleistend entspannt. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird die Turbinenleistung durch einen Bremsgenerator an das Werksnetz übertragen.Der entspannte Turbinenaustrittsstrom wird teils durch den Hauptwärmetauscher 2 über die Leitungen 310, 311 und 304 auf die Saugseite der Verdichterstation 305 zurückgeführt, teils über Leitung 312 in den Sumpf der Mitteldrucksäule 6 eingespeist.

[0026] Ein zweiter Teil 313 der hochverdichteten Luft 306 wird gegen den verdampfenden Drucksauerstoff 17 mindestens teilweise, vorzugsweise vollständig oder im wesentlichen vollständig verflüssigt, zu einem Teil 314 oberhalb vom Sumpf in die Niederdrucksäule 5 und zu einem anderen Teil 315 in den Sumpf der Drucksäule 7 entspannt.

[0027] Sumpfflüssigkeit 70 und Waschstickstoff 74 vom Kopf der Drucksäule 7 werden in einem Unterkühlungsgegenströmer 4 gegen einen Restgasstrom 50 der Niederdrucksäule 5 unterkühlt und jeweils in die Niederdrucksäule 5 und / oder in die Mitteldrucksäule entspannt (Leitungen 71,72,73,75,76 und 77). Sumpfflüssigkeit 60 und Waschstickstoff 61 aus der Mitteldrucksäule werden ebenfalls im Unterkühlungsgegenströmer 4 gegen den Restgasstrom 50 unterkühlt (in Figur 1 nicht dargestellt) oder die Sumpfflüssigkeit 60 direkt in den Kopfkondensator 10 der Mitteldrucksäule und der Waschstickstoff 61 auf den Kopf der Niederdrucksäule 5 aufgegeben. Ein Restgasstrom 51 und Produkte aus dem Rektifikationsabschnitt, im Beispiel GOX und DGOX werden im Hauptwärmetauscher 2 etwa auf Umgebungstemperatur angewärmt (Leitungen 51, 52, 54, 55, 17 und 18). Der Restgasstrom 52 kann vollständig oder teilweise als Strom 53 zur Regenerierung der Molekularsiebstation 32 eingesetzt werden.

[0028] Flüssiger Sauerstoff 15 wird dem Sumpf der Niederdrucksäule entnommen, je nach Produktspezifikation mit Hilfe einer Sauerstoffpumpe 16 auf den geforderten Abgabedruck komprimiert oder vollständig oder teilweise in einen Wechselpeichertank 80 eingefüllt. Flüssiger Stickstoff 78 wird vom Kopf der Niederdrucksäule 5 abgezogen oder von einer der Waschstickstoffleitungen 75 bzw.61 abgezweigt und ebenfalls innenverdichtet (in Figur 1 nicht dargestellt) oder in einen Wechselspeichertank 79 eingespeist.

[0029] Zur Erhöhung der Flexibilität der Fahrweise und der Verfügbarkeit der Druckprodukte, im Beispiel des DGOX besteht die Verdichterstation 305 aus mindestens zwei parallel geschalteten Verdichtern. Hierdurch wird es möglich, die Wechselspeicheranlage auch als reinen Gaseapparat zu betreiben,d.h. ohne Flüssigproduktion weiterhin den innenverdichteten Drucksauerstoff (DGOX) zu erzeugen. Im Fall von zwei Verdichtern wird einer der beiden Verdichter der Verdichterstation 305 außer Betrieb genommen und der zweite Verdichter übernimmt die Aufgabe, den innenverdichteten Drucksauerstoff 17 zu verdampfen. Somit besteht die Verdichterstation 305 erfindungsgemäß aus zwei Verdichtem mit jeweils unterschiedlicher Funktion, von denen der eine zur Erzeugung der Kälte für die Flüssigproduktion und der andere zur Verdampfung des innenverdichteten Drucksauerstoffs herangezogen wird.

[0030] Die Wechselspeichertanks 79 und 80 dienen im Beispiel einer zeitlich begrenzten Überproduktion von DGOX, der Entnahme von LOX und LIN als Verkaufsprodukte, als Notversorgungstanks,als Wechselspeicherung der LOX - und LIN -Kälteinhalte und als Kälteversorgung bei abgeschaltetem Kältekreislauf. Die in Figur 1 angegebene Verdichterstation kann ein- oder mehr- stufige Maschinen mit Zwischen- und / oder Nachkühlung enthalten.

Figur 2

[0031] In Abweichung zum Ausführungsbeispiel in Figur 1 wird die Arbeitsleistung der Entspannungsturbine 309 in

der vorliegenden Ausführung an einen Booster übertragen. Außerdem wird der Luftdrosselstrom 313 vor seiner Abkühlung im Hauptwärmetauscher 2 und anschließender isenthalper Entspannung in die Doppelsäule 5,7 auf einen Druck komprimiert, der mindestens so groß ist wie der Enddruck der Verdichterstation 305 des Ausführungsbeispiels in Figur 1.

Figur 3

[0032] In Figur 3 wird zu zerlegende Luft bei 1 angesaugt und in einem Luftverdichter 30 auf einen ersten Druck im wesentlichen Mitteldrucksäulendruck (plus Leitungsverluste) verdichtet, in einer Kühleinrichtung 31 in direktem Kontakt mit Wasser vorgekühlt und in einer Reinigungseinrichtung (Molsiebanlage) 32 insbesondere von Wasser und Kohlendioxid befreit.

[0033] Die gereinigte Luft wird in drei Teilströme aufgeteilt, von denen der erste ohne weitere druckerhöhende Maßnahmen über Leitung 103, durch Hauptwärmetauscher 2 und über Leitung 104 in eine Mitteldrucksäule 6 eingeführt werden kann. Die Mitteldrucksäule 6 wird - entsprechend der jeweiligen Produktspezifikation und den Druckverlusten - unter einem Druck von 2 bis 4 bar, vorzugsweise etwa 2,5 bis 3,5 bar betrieben.

[0034] Der zweite Teilstrom der gereinigten Luft wird in einem Nachverdichter 202 auf einen Druck verdichtet, der einer Luft-Kondensationstemperatur entspricht, die mindestens etwa gleich der Verdampfungstemperatur eines flüssigen Niederdrucksauerstoffs 15 ist, im Hauptwärmetauscher 2 in indirektem Wärmeaustausch mit kalten Verfahrensströmen abgekühlt und in einen Sumpfkondensator 3 der Niederdrucksäule 5 eingeführt (siehe Positionen 201, 202, 203, 2, 204 und 3).

[0035] Letztere arbeitet bei einem Druck von 1,1 bis 2,0 bar vorzugsweise 1,3 bis 1,7 bar. Der Luftnachverdichter 202 kann von derselben Motorwelle angetrieben werden wie der Luftverdichter 30.

[0036] Bei hohen Sauerstoffreinheiten (größer 99,5 %) geht der gezeigte Zweisäulenapparat im Grenzfall über in den normalen Doppelsäulenapparat (siehe z.B. Patentschrift DE 195 26 785 C1). Der zweite Teilstrom geht dann gegen Null und die Niederdrucksäulenanstiche der Ströme 62 und 63 verschieben sich in Richtung Sumpf der Niederdrucksäule 5, so daß der Kopfkondensator 10 zum Hauptkondensator der Doppelsäule wird und sich der Druck der Mitteldrucksäule entsprechend der thermischen Kopplung erhöht.

[0037] Der dritte Teilstrom wird über eine Leitung 301 einer Verdichterstation 305 für Turbinenluft (306, 307, 308) in eine Turbine 309 und/oder für Rektifikationsluft (313, 314, 315) zugeführt, wobei deren Ansaugdruck 303 mit Hilfe einer Drosselvorrichtung 302 vermindert werden kann insbesondere bei Unterlastbetrieb. Die Luft des dritten Teilstromes wird in der Verdichterstation 305 von etwa Mitteldrucksäulendruck auf einen Druck komprimiert, der einer Luft-Kondensationstemperatur entspricht, die mindestens etwa gleich der Verdampfungstemperatur des flüssigen Drucksauerstoffs 17 ist.

[0038] Ein erster Teilstrom 307 der hochverdichteten Luft 306 wird über Leitung 308 bei einer Temperatur, die zwischen den Temperaturen am warmen und am kalten Ende des Hauptwärmetauschers 2 liegt, der Entspannungsturbine 309 zugeleitet und dort auf etwa Mitteldrucksäulendruck arbeitsleistend entspannt. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird die Turbinenleistung durch einen Bremsgenerator an das Werksnetz übertragen.Der entspannte Turbinenaustrittsstrom wird teils durch den Hauptwärmetauscher 2 über die Leitungen 310,311 und 304 auf die Saugseite der Verdichterstation 305 zurückgeführt, teils über Leitung 312 in den Sumpf der Mitteldrucksäule 6 eingespeist.

[0039] Ein zweiter Teilstrom 313 der hochverdichteten Luft 306 wird gegen den verdampfenden Drucksauerstoff 17 mindestens teilweise, vorzugsweise vollständig oder im wesentlichen vollständig verflüssigt, zu einem Teil 314 oberhalb vom Sumpf in die Niederdrucksäule 5 und zu einem anderen Teil 315 in den Sumpf der Mitteldrucksäule 6 entspannt.

[0040] Sumpfflüssigkeit 60 und Waschstickstoff 61 vom Kopfkondensator 10 der Mitteldrucksäule 6 werden in einem Unterkühlungsgegenströmer 4 gegen einen Restgasstrom 50 der Niederdrucksäule 5 unterkühlt und jeweils in diese entspannt (Leitungen 71,75 und 76). Ein Restgasstrom 51 und Produkte aus dem Rektifikationsabschnitt, im Beispiel DGOX werden im Hauptwärmetauscher 2 etwa auf Umgebungstemperatur angewärmt (Leitungen 51,52,17 und 18). Der Restgasstrom 52 kann vollständig oder teilweise zur Regenerierung 53 der Molekularsiebstation 32 eingesetzt werden.

[0041] Flüssiger Sauerstoff 15 wird dem Sumpf der Niederdrucksäule entnommen, je nach Produktspezifikation mit Hilfe einer Sauerstoffpumpe 16 auf den geforderten Abgabedruck komprimiert oder vollständig oder teilweise in einen Wechselpeichertank 80 eingefüllt. Flüssiger Stickstoff 78 wird vom Kopf der Niederdrucksäule 5 abgezogen oder von der Waschstickstoffleitung 61 abgezweigt und ebenfalls innenverdichtet (in Figur 1 nicht dargestellt) oder in den Wechselspeichertank 79 eingespeist.

[0042] Zur Erhöhung der Flexibilität der Fahrweise und der Verfügbarkeit der Druckprodukte, im Beispiel des DGOX besteht die Verdichterstation 305 aus mindestens zwei parallel geschalteten Verdichtem. Hierdurch wird es möglich, die Wechselspeicheranlage auch als reinen Gaseapparat zu betreiben,d.h. ohne Flüssigproduktion weiterhin den innenverdichteten Drucksauerstoff (DGOX) zu erzeugen. Im Fall von zwei Verdichtern wird einer der beiden Verdichter der Verdichterstation 305 außer Betrieb genommen und der zweite Verdichter übernimmt die Aufgabe, den innenverdich-

teten Drucksauerstoff 17 zu verdampfen. Somit besteht die Verdichterstation 305 erfindungsgemäß aus zwei Verdichtem mit jeweils unterschiedlicher Funktion, von denen der eine zur Erzeugung der Kälte für die Flüssigproduktion und der andere zur Verdampfung des innenverdichteten Drucksauerstoffs herangezogen wird.

[0043] Die Wechselspeichertanks 79 und 80 dienen im Beispiel einer zeitlich begrenzten Überproduktion von DGOX, der Entnahme von LOX und LIN als Verkaufsprodukte, als Notversorgungstanks,als Wechselspeicherung der LOX - und LIN -Kälteinhalte und als Kälteversorgung bei abgeschaltetem Kältekreislauf. Die in Figur 3 angegebene Verdichterstation kann ein- oder mehr- stufige Maschinen mit Zwischen- und / oder Nachkühlung enthalten.

Figur 4

[0044] In Abweichung zum Ausführungsbeispiel 3 wird die Arbeitsleistung der Entspannungsturbine 309 in der vorliegenden Ausführung an einen Booster übertragen. Außerdem wird der Luftdrosselstrom 313 vor seiner Abkühlung im Hauptwärmetauscher 2 und anschließender isenthalper Entspannung in die Säulen 5 und 6 auf einen Druck komprimiert, der mindestens so groß ist wie der Enddruck der Verdichterstation 305 des Ausführungsbeispiel in Figur 3.

Beispiel:

[0045] Für die Belieferung eines Stahlwerks werden stark schwankende Mengen DGOX und Druckstickstoff (DRGAN) benötigt. Für die Belieferung des Gasmarktes sollen zusätzlich die Flüssigprodukte LOX, LIN und Flüssigargon (LAR) produziert werden, um die Wirtschaftlichkeit der Produktionsanlage zu erhöhen. Die Investitionsentscheidung wird zugunsten einer Anlage mit Turbinen/Booster-Einheit und Doppelsäulenrektifikation gefällt, weil keine Energie ins örtliche Stromnetz eingespeist werden darf und weil eine hohe Sauerstoffreinheit gefordert wird. Bis auf die nicht dargestellte Argongewinnung entspricht dies einer Anlage, wie sie in Figur 4 dargestellt ist. Die Tabelle zeigt für vier Hauptbetriebsarten A1, A2, A3 und A4 der Anlage die Produktströme, die Wechselspeicherströme, für die (Kreislauf-und Drosselluft-) Verdichterstation die Anzahl der im Betrieb befindlichen Kompressoren, die Luftströme und den Energiebedarf der Anlage. Alle Gas- und Flüssigkeitsströme sind in m^3/h angegeben, wobei jeweils m^3/h im Normalzustand bei 1atm und 273 K gemeint sind. Die Betriebsfälle A1, A2 und A3 zeichnen sich dadurch aus, daß beide Kompressoren der Verdichterstation in Betrieb sind und einen Turbinenstrom und einen Drosselstrom liefern.

[0046] Im Betriebsfall A1 werden zusätzlich zur Flüssigproduktion 10.000 m^3/h DGOX erzeugt. Für eine Belieferung des Stahlwerks mit 13.000 m^3/h DGOX wie in Betriebsfall A2 werden zusätzlich 3000 m^3/h als LOX einem LOX-Tank flüssig entnommen und innenverdichtet als DGOX abgegeben. Der Kälteinhalt des LOX wird genutzt und reicht aus, um den LIN Tank mit 2.800 m^3/h zu füllen. Im Betriebsfall A3 werden nur 7.000 m^3/h DGOX an das Stahlwerk abgegeben. Der beispielsweise im Betriebsfall A2 entleerte LOX-Tank wird mit 3000 m^3/h LOX wieder befüllt. Die hierzu benötigte Kälte wird mit LIN aus dem vom Betriebsfall A2 her gefüllten LIN-Tank zugeführt.

[0047] Im Betriebsfall A4 ist in der Verdichterstation nur ein Kompressor in Betrieb. Er liefert den Drosselstrom, Flüssigkeit wird nicht erzeugt. Selbst für die im Stahlwerk maximal benötigte DGOX Menge von 13.000 m^3/h ist die hierfür benötige Kälteleistung um eine Größenanordnung kleiner als in den Betriebsfällen A1, A2 und A3, der äquivalent benötigte Turbinenstrom müßte nur 4000 m^3/h betragen. Der Kältekreislauf der Anlage wird deshalb günstig durch Flüssigkeit aus den Tanks gedeckt und der Turbinenstrom abgeschaltet. Andere Betriebsfälle sind denkbar. Die genannten Betriebsfälle zeichnen sich dadurch besonders aus, daß alle betrieblichen Anforderungen energetisch günstig erfüllt werden, weil die Maschinen in ihrem Auslegungspunkt bei etwa 100 % Leistung betrieben werden. Der Stromverbrauch der Anlage ist in der überwiegenden Zeit nahezu konstant. Deshalb kann bei den Elektroversorgungsuntenehmen ein günstiger Stromtarif erzielt werden.

Tabelle

Betriebsfall		**A1**	**A2**	**A3**	**A4**
Eintrittsluft	m^3/h	65.000	65.000	65.000	65.000
Produkte					
DGOX	m^3/h	10.000	13.000	7.000	13.000
LOX	m^3/h	3.000	3.000	3.000	-
LIN	m^3/h	4.000	3.000	4.300	-
DRGAN	m^3/h	2.000	2.000	2.000	2.000
LAR	m^3/h	430	430	430	430
Wechselpeicherströme					
LOX zum Tank	m^3/h	-	-	3.000	-
LIN zum Tank	m^3/h	-	2.800	-	-
LOX vom Tank	m^3/h	-	3.000	-	-
LIN vom Tank	m^3/h	-	-	2.800	-
Verdichterstation					
Anzahl der betriebenen Kompressoren	m^3/h	2	2	2	1
Turbinenstrom	m^3/h	51.000	43.500	57.000	4.000
Drosselstrom	m^3/h	21.000	23.000	17.000	23.000
Stromverbrauch	kW	11.000	11.000	11.000	7.700

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von gasförmigem Druckprodukt durch Tieftemperaturzerlegung von Luft, das zeitweise in einem Gasbetrieb und zeitweise in einem kombinierten Betrieb betrieben wird,
wobei im Gasbetrieb und im kombinierten Betrieb

   - gereinigte Einsatzluft unter Überdruck abgekühlt, teilweise verflüssigt und zur Gewinnung gasförmiger und flüssiger Fraktionen einer Rektifikation unterzogen wird,
   - tiefkalte Flüssigkeit mindestens einer der flüssigen Fraktionen aus der Rektifikation unter erhöhtem Druck durch indirekten Wärmeaustausch mit Einsatzluft verdampft, angewärmt und als gasförmiges Druckprodukt gewonnen wird,
   wobei im kombinierten Betrieb
   - die hierzu benötigte Kälte in einem Luft-Kältekreislauf erzeugt wird, indem Luft in dem Kältekreislauf verdichtet und arbeitsleistend entspannt wird, der Luft hierbei Wärme entzogen wird und die arbeitsleistend entspannte Luft mindestens zum Teil im Gegenstrom mit der abzukühlenden Einsatzluft wieder angewärmt und dann rückverdichtet wird,
   - tiefkalte Flüssigkeit erzeugt und mindestens zum Teil gespeichert wird,

   dadurch gekennzeichnet, daß beim Gasbetrieb der Luftdurchsatz im Kältekreislauf auf Null reduziert wird und zu einer Kompensation von Kälteverlusten, die nicht mehr durch den Kältekreislauf gedeckt werden, tiefkalte gespeicherte Flüssigkeit verwendet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß tiefkalte Flüssigkeit mindestens einer flüssigen Fraktion aus der Rektifikation, beispielsweise Flüssigstickstoff (LIN), Flüssigsauerstoff (LOX) oder flüssige Luft, zur Kompensation von Kälteverlusten im Gasbetrieb in einem Tank zwischengespeichert wird, wobei als Tank zum Speichern dieser Fraktionen Pufferbehälter und/oder Produkttanks verwendet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zeitweise unter Verwendung mindestens zweier Tanks

eine Wechselspeicherung vorgenommen wird, wobei einerseits bei erhöhtem Drucksauerstoff (DGOX)-Bedarf zusätzlich zum LOX aus der Rektifikation aus dem einen Tank zwischengespeichertes LOX entnommen, verdichtet, im Gegenstrom verdampft und angewärmt und dann als DGOX-Produkt abgeben wird und hierbei im Gegenstrom Kälte zurückgewonnen und zur Erzeugung und Zwischenspeicherung von LIN-Produkt verwendet wird, wobei andererseits bei niedrigen DGOX Bedarf entsprechend wenig LOX aus dem Rektifiziersystem als DGOX abgeben und dafür mehr LOX zwischengespeichert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß ein Zweisäulenverfahren eingesetzt wird, wobei eine Kopfkühlung der Drucksäule mit einer Zwischenflüssigkeit aus einer Niederdrucksäule bewerkstelligt und eine Sumpfheizung der Niederdrucksäule durch indirekten Wärmeaustausch mit Luft vorgenommen wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Rektifiziersystem ein Dreisäulenverfahren eingesetzt wird, wobei eine Doppelsäule mit einem Hochdruckteil und einem Niederdruckteil und eine Zusatzsäule unter Zwischendruck eingesetzt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 mit Gewinnung von gasförmigem Druckprodukt durch Verdampfen und Anwärmen von Flüssigkeit unter Druck wie in Anspruch 1, was auch Innenverdichtung genannt wird, im Gegenstrom mit warmer Luft, dadurch gekennzeichnet, daß Luft auf dem oberen Druckniveau der Verdichtung im Kältekreislauf verwendet wird oder solche, die von diesem Druckniveau ausgehend nachverdichtet wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die arbeitsleistende Entspannung in mindestens einer Kälteturbine erfolgt, wobei die Leistung an der Welle einer solchen Turbine zum Antrieb entweder eines stromerzeugenden Generators oder eines Boosters verwendet wird, wobei der Booster beispielsweise zum Nachverdichten der Luft im Kältekreislauf eingesetzt wird.

8. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 mit

- einem Hauptverdichter für Einsatzluft, wobei der Austrittsdruck des Hauptluftverdichters auch Arbeitsdruck einer folgenden Reinigungseinheit ist,
- einer Reinluftleitung aus der Reinigungseinheit zu einer Verdichterstation für die Luft im Kältekreislauf und für die Luft zur Rektifikation
- und einer druckseitigen Leitung aus der Verdichterstation, die einerseits in einen Leitungsstrang des Kältekreislaufs mit mindestens einer Kälteturbine mündet und andererseits in eine Abzweigung für Drosselluft zu den Säulen,

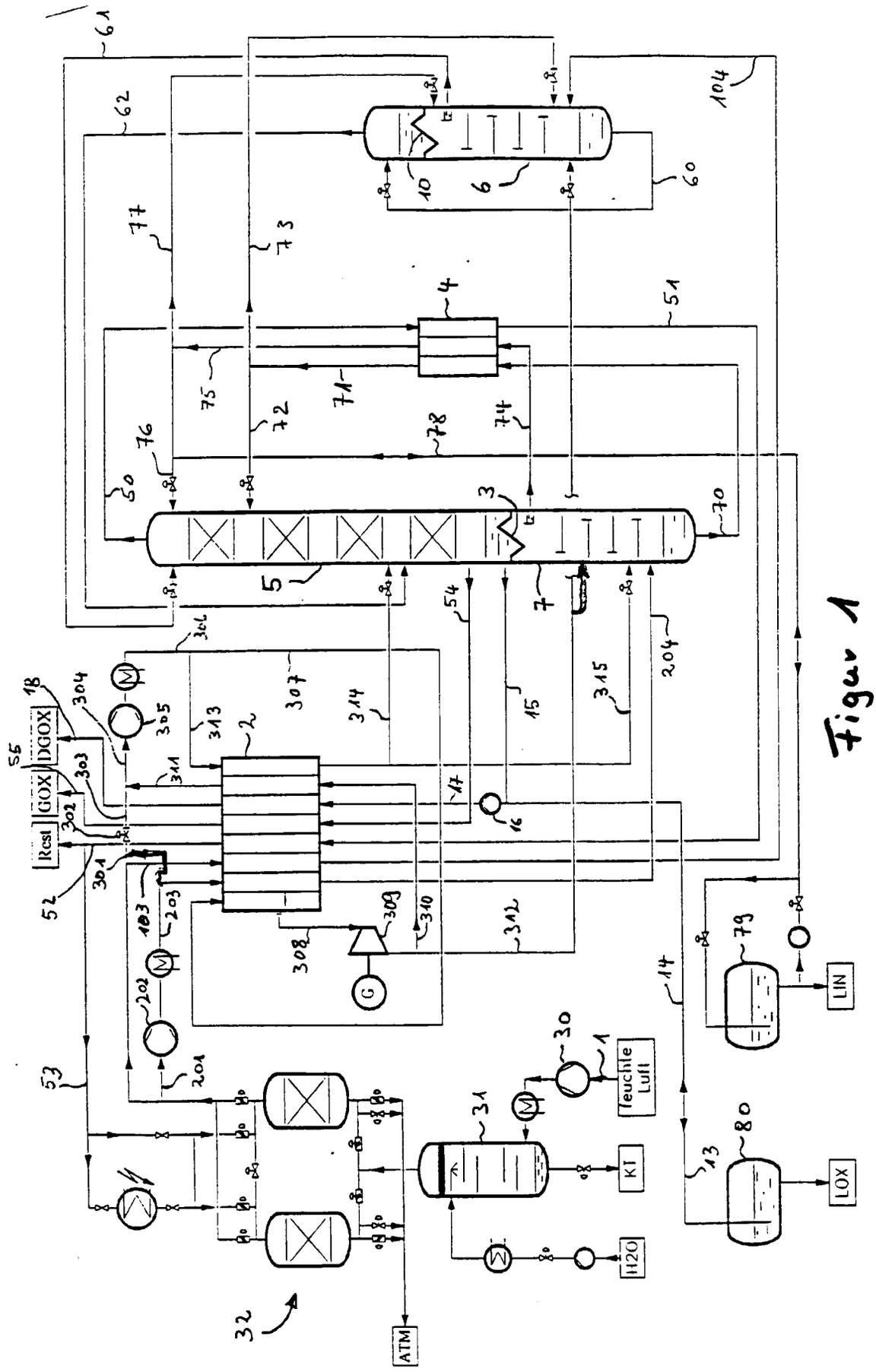
dadurch gekennzeichnet, daß die Verdichterstation mit mindestens zwei parallel angeordneten Verdichtem ausgeführt ist, die so ausgelegt sind, daß im Gasbetrieb nur einer der Verdichter im Betrieb ist, wobei dieser Verdichter Drosselluft liefert und der Kältekreislauf nicht mit Luft beaufschlagt ist, während im Betrieb mit Erzeugung von Druckprodukt und Flüssigprodukt mindestens zwei parallel angeordnete Verdichter in Betrieb sind und zusätzlich zum Liefern von Drosselluft auch der Kältekreislauf mit Luft beaufschlagt ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Kälteturbine im Leitungsstrang des Kältekreislaufs als Turbinen/Generator-Einheit ausgebildet ist.

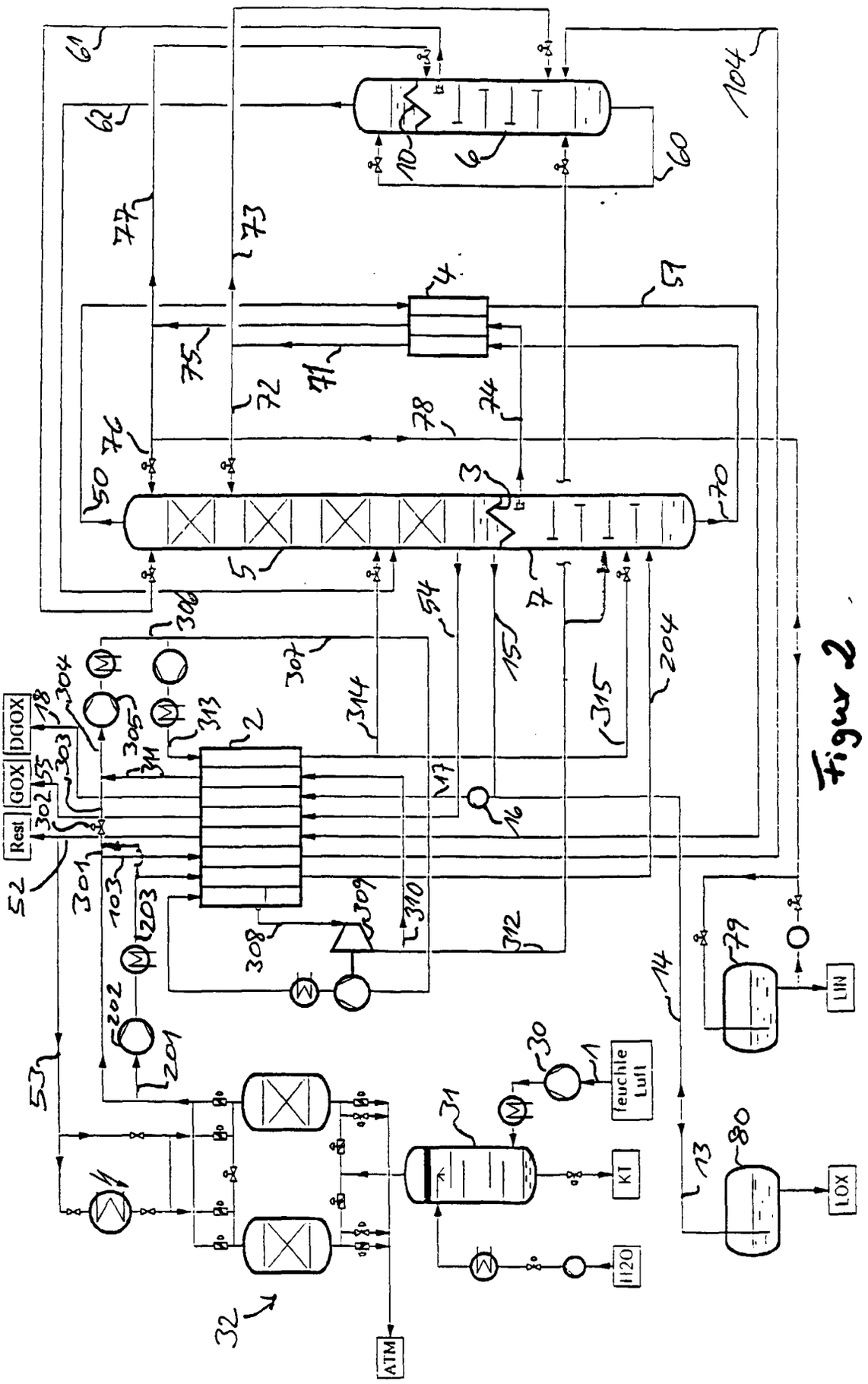
10. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Kälteturbine im Leitungsgang des Kältekreislaufs als Turbinen/Booster-Einheit ausgebildet ist, wobei der Booster im Leitungsstrang des Kältekreislaufs als Nachverdichter von Luft aus der Verdichterstation geschaltet ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß im Leitungsstrang für die Drosselluft ein Nachverdichter für Luft aus der Verdichterstation angeordnet ist.

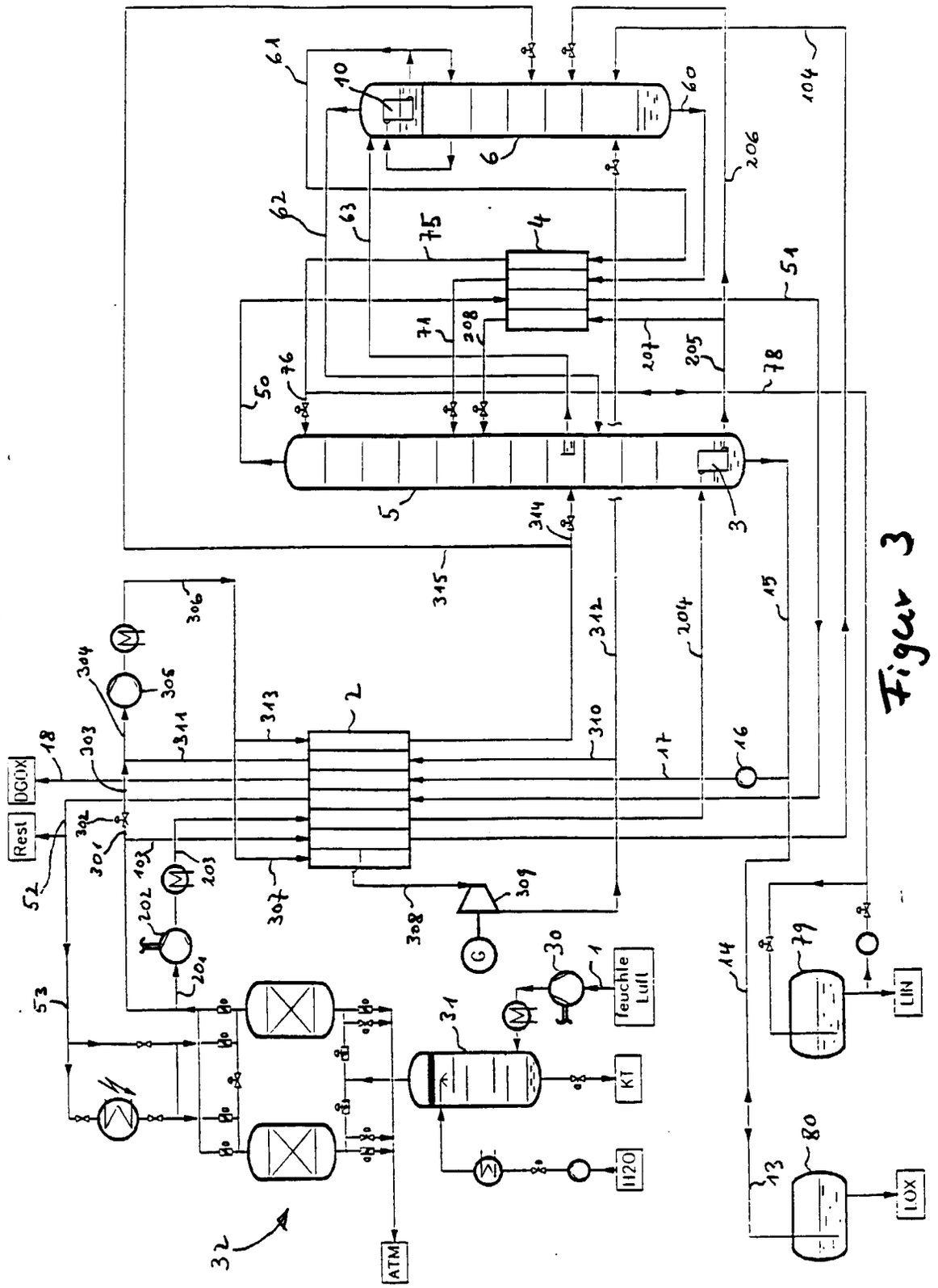
12. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 und der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11 in einer Luftzeriegungsanlage zur Belieferung eines Stahlwerks mit Stickstoff und Sauerstoff.


61
62
104
10
6
60
77
73
4
51
75
72
71
78
74
76
60
3
70
5
7
54
204
304
18
305
313
2
307
314
15
315
55
DGOX
GOX
Rest
303
311
302
301
17
16
52
103
203
309
340
312
308
G
202
201
53
14
79
LIN
30
1
Teuchte
Luft
31
KT
H2O
13
80
LOX
32
ATM

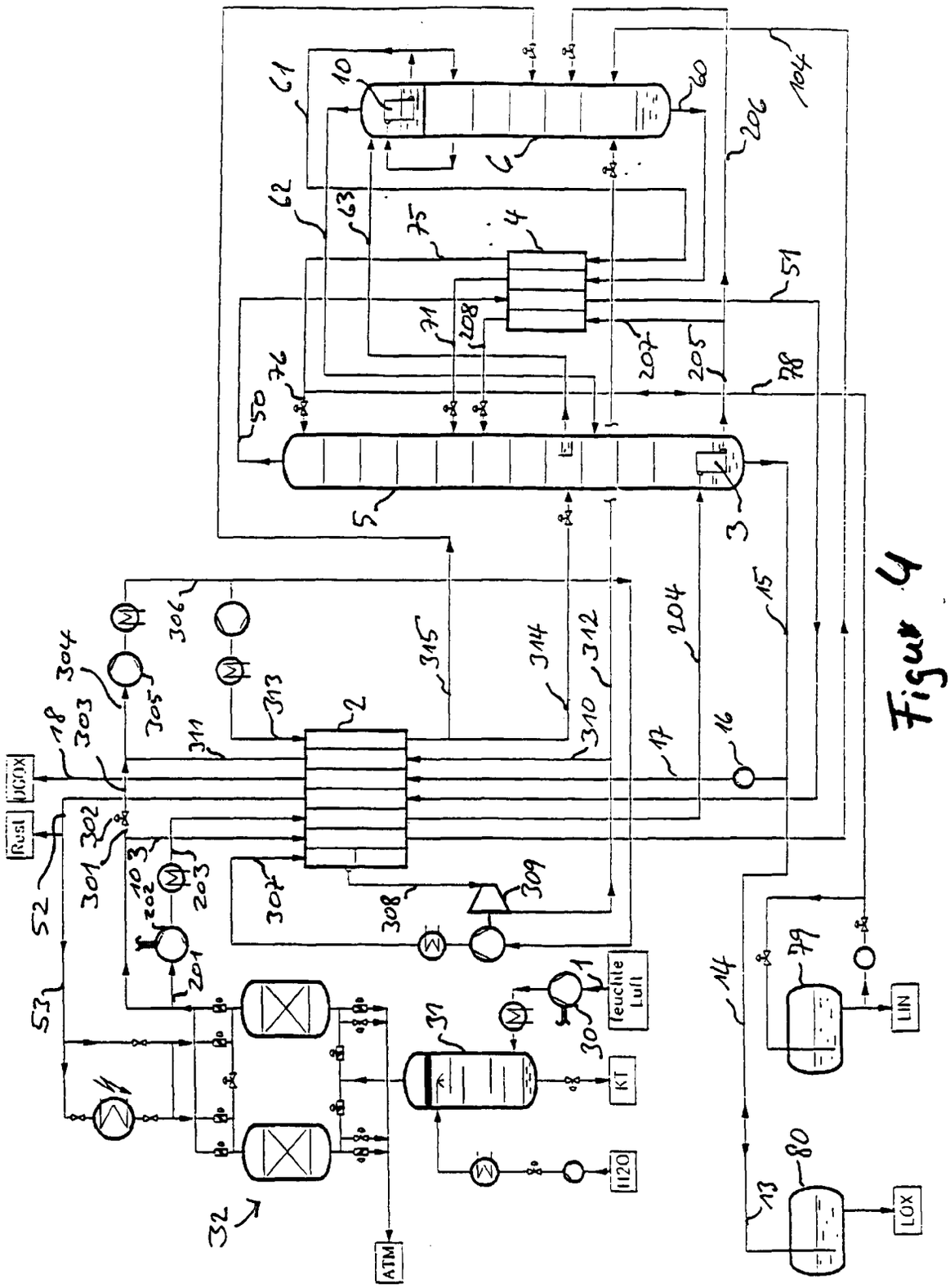
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4

Europäisches Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 99 10 6715

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
X	US 5 678 425 A (AGRAWAL RAKESH ET AL) 21. Oktober 1997 (1997-10-21) * Spalte 5, Zeile 28 - Zeile 32; Ansprüche; Abbildung 5; Beispiele * * Spalte 6, Zeile 7 - Zeile 9 * * Spalte 7, Zeile 58 - Zeile 64 * * Spalte 9, Zeile 64 - Spalte 10, Zeile 11 *	1-7	F25J3/04
A	---	8-10	
A	US 5 084 081 A (ROHDE WILHELM) 28. Januar 1992 (1992-01-28) * Spalte 2, Zeile 62 - Zeile 66; Ansprüche; Abbildung 1 *	1,2,8	
A	--- EP 0 793 070 A (AIR PROD & CHEM) 3. September 1997 (1997-09-03) * Seite 3, Zeile 25 - Zeile 28; Ansprüche; Abbildungen * * Seite 4, Zeile 16 - Zeile 38 * * Seite 7, Zeile 16 - Zeile 48 *	1,8	
D,A	--- EP 0 044 679 A (AIR PROD & CHEM) 27. Januar 1982 (1982-01-27) * das ganze Dokument *	1,8	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6) F25J

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
DEN HAAG	28. Juli 1999	Lapeyrere, J

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE

X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie
A : technologischer Hintergrund
O : nichtschriftliche Offenbarung
P : Zwischenliteratur

T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument

& : Mitglied der gleichen Patentfamilie,übereinstimmendes Dokument

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR. EP 99 10 6715

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

28-07-1999

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5678425 A	21-10-1997	CA 2206649 A	07-12-1997
		EP 0811816 A	10-12-1997
		JP 10054658 A	24-02-1998
US 5084081 A	28-01-1992	DE 3913880 A	31-10-1990
		AT 77687 T	15-07-1992
		AU 627869 B	03-09-1992
		AU 5398390 A	01-11-1990
		CA 2015458 A,C	27-10-1990
		CS 9002111 A	13-08-1991
		EP 0399197 A	28-11-1990
		JP 3063490 A	19-03-1991
		SU 1838732 A	30-08-1993
EP 0793070 A	03-09-1997	US 5666823 A	16-09-1997
		CA 2195909 A	01-08-1997
		CN 1158941 A	10-09-1997
		JP 9228852 A	02-09-1997
EP 0044679 A	27-01-1982	GB 2080929 A	10-02-1982
		AU 522576 B	17-06-1982
		AU 7317881 A	01-04-1982
		BR 8104722 A	13-04-1982
		CA 1164334 A	27-03-1984
		GR 74322 A	22-06-1984
		JP 1169251 C	30-09-1983
		JP 57041565 A	08-03-1982
		JP 58001350 B	11-01-1983
		US 4372764 A	08-02-1983
		ZA 8104910 A	28-07-1982

EPO FORM P0461

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