



Veröffentlichungsnummer: **0 505 812 A1**

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

Anmeldenummer: **92104008.5**

Int. Cl.⁵: **F25J 3/04**

Anmeldetag: **09.03.92**

Priorität: **26.03.91 DE 4109945**

Erfinder: **Rohde, Wilhelm, Dipl.-Ing. (FH)**
Forstenrieder Allee 20
W-8000 München 71(DE)

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
30.09.92 Patentblatt 92/40

Benannte Vertragsstaaten:
AT BE DE DK ES FR GB IT NL SE

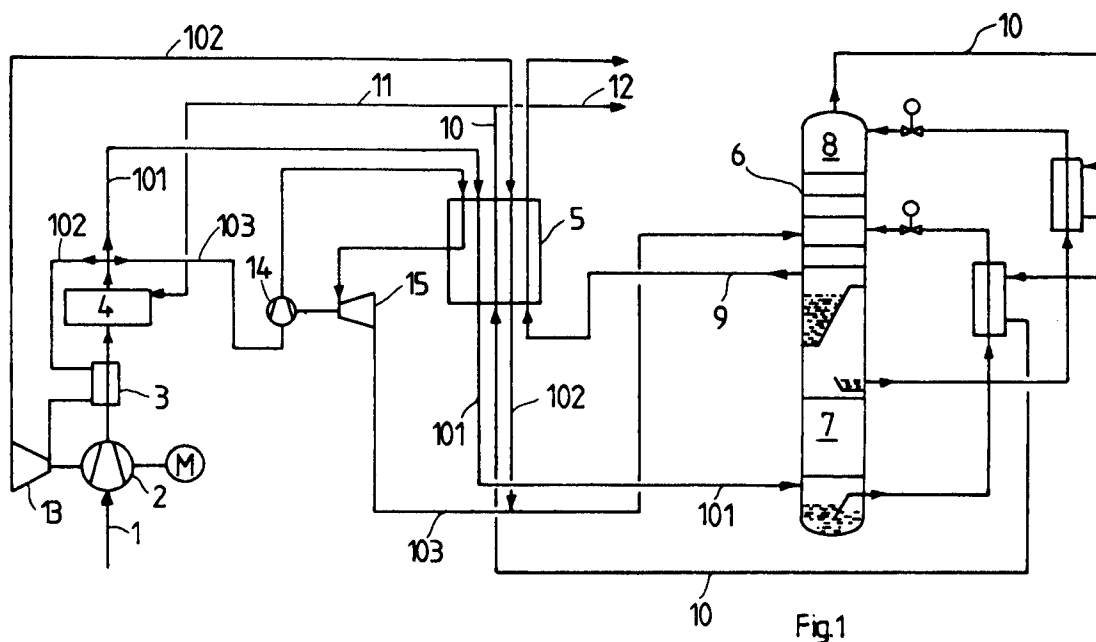
Vertreter: **Schaefer, Gerhard, Dr.**
Linde Aktiengesellschaft Zentrale
Patentabteilung
W-8023 Höllriegelskreuth(DE)

Anmelder: **Linde Aktiengesellschaft**
Abraham-Lincoln-Strasse 21
W-6200 Wiesbaden(DE)

Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft.

Es wird ein Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft beschrieben, insbesondere zur Herstellung von Sauerstoff mittlerer Reinheit. Bei dem Verfahren wird die gesamte Einsatzluft (1) in einer ersten Verdichterstufe (2) verdichtet und durch Adsorption (4) gereinigt. Ein erster Teilstrom (101) der Luft wird in die Druckstufe (7) einer zweistufigen Rektifiziersäule (6) eingespeist. Ein zweiter Teilstrom

wird direkt der Niederdruckstufe (8) zugeführt. Er wird erfindungsgemäß nach der Adsorption (4) von der übrigen Einsatzluft abgetrennt, gegen verdichtete Einsatzluft angewärmt (3) und arbeitsleistend entspannt (13). Die dabei gewonnene Arbeit wird mindestens teilweise zur Verdichtung (2) von Einsatzluft eingesetzt.



EP 0 505 812 A1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Tief-temperaturzerlegung von Luft, bei dem Einsatzluft verdichtet, gereinigt, abgekühlt und in mehrere Teilströme aufgeteilt in die Druckstufe und in die Niederdruckstufe einer zweistufigen Rektifiziereinrichtung eingeleitet wird, wobei ein erster Teilstrom der Druckstufe und ein zweiter Teilstrom der Niederdruckstufe zugeleitet werden.

Ein derartiges Verfahren ist aus der EP-A 0 342 436 bekannt. Hier wird die Einsatzluft zunächst nur auf Niederdruckstufendruck komprimiert und auf dem mittleren Druckniveau in einen ersten und in einen zweiten Teilstrom aufgeteilt. Lediglich der erste Teilstrom, der teilweise in die Drucksäule eingespeist wird, wird weiter verdichtet. Dieser Prozeß bewirkt zwar eine sehr wirtschaftliche Verwendung der Kompressionsenergie. Allerdings ist man gezwungen, die Entfernung von Kohlendioxid, Kohlenwasserstoffen und Wasser aus dem zweiten Teilstrom in einer eigenen Reinigungsstufe, in der Regel einer Molsiebstation, vorzunehmen. Durch den niedrigen Druck benötigt dieses Molsieb hohe Mengen an Regeneriergas. Diese stehen dann für andere Zwecke nicht mehr zur Verfügung, insbesondere nicht für eine kostengünstige Verdunstungskühlung des für die Vorkühlung der Luft benötigten Kühlwassers.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art dahingehend weiterzuentwickeln, das seine Wirtschaftlichkeit erhöht und insbesondere eine kostengünstigere Luftreinigung durchgeführt werden kann.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Einsatzluft in einer ersten Verdichterstufe auf etwa Druckstufendruck gebracht, in einer Reinigungsstufe durch Adsorption gereinigt und anschließend in den ersten und zweiten Teilstrom aufgeteilt wird und der zweite Teilstrom vor der Einspeisung in die Niederdruckstufe in indirektem Wärmetausch gegen verdichtete Einsatzluft angewärmt und arbeitsleistend entspannt wird und daß bei der Entspannung des zweiten Teilstroms gewonnene Arbeit zur Verdichtung eines Prozeßstroms, insbesondere von Einsatzluft verwendet wird.

Durch die erfindungsgemäße Verfahrensführung ist es möglich, die gesamte Einsatzluft in einer einzigen Reinigungsstufe zu behandeln, und zwar unter Druckstufendruck. Es entfallen die Investitionskosten und der hohe Betriebsaufwand für eine zusätzliche Niederdruck-Reinigungsstufe. Die überschüssige Kompressionsenergie, die in den zweiten Teilstrom gesteckt wird, kann in einer Turbine teils als mechanische Arbeit zurückgewonnen, teils in Kälte umgesetzt werden.

Die Arbeit wird in der Regel vollständig und direkt durch mechanische Kopplung an einen Verdichter abgegeben, zusätzlich oder alternativ kann jedoch auch ein Generator angetrieben werden.

Um die arbeitsleistende Entspannung unter günstigen Bedingungen durchzuführen, wird der zweite Teilstrom vorher angewärmt. Dabei kann verdichteter Einsatzluft günstig Wärme entzogen werden.

Durch den von der Turbine angetriebenen Verdichter kann beispielsweise ein Produkt- oder einer Zwischenproduktstrom fließen. Im allgemeinen ist die Verwendung der bei der arbeitsleistenden Entspannung gewonnenen Arbeit zur Verdichtung von Einsatzluft am günstigsten.

Zusätzlich kann in dem Verfahren Kälte erzeugt werden, indem stromabwärts der Adsorption ein dritter Teilstrom abgezweigt, in einer zweiten Verdichterstufe nachverdichtet, anschließend abgekühlt, arbeitsleistend entspannt und in die Niederdruckstufe eingespeist wird, wobei bei der arbeitsleistenden Entspannung des dritten Teilstroms gewonnene Arbeit zur Nachverdichtung des dritten Teilstroms in der zweiten Verdichterstufe eingesetzt wird. Hierbei wird ebenfalls nicht benötigter Druck für die Erzeugung von Verfahrenskälte ausgenutzt.

Für die Übertragung von Arbeit und Kälte stellt die Erfindung zwei Varianten zur Verfügung:

Zum einen kann bei der arbeitsleistenden Entspannung des zweiten Teilstroms gewonnene Arbeit zum Antrieb der ersten Verdichterstufe eingesetzt werden. Da diese Arbeit selbstverständlich nicht für den Antrieb des Luftverdichters ausreicht, muß die Welle, die in der Regel Entspannungsturbine und erste Verdichterstufe verbindet, zusätzlich durch einen Motor angetrieben werden.

Dabei ist es vorteilhaft, wenn die Anwärmung des zweiten Teilstroms vor seiner Entspannung durch indirekten Wärmetausch mit Einsatzluft hinter der ersten Verdichterstufe und vor der Reinigungsstufe durchgeführt wird.

An dieser Stelle muß die Einsatzluft ohnehin vorgekühlt werden. Sie verläßt in der Regel einen mit Kühlwasser von etwa 25 °C betriebenen Kühler mit einer Temperatur von ca. 35 °C und muß für die Adsorption in der Reinigungsstufe auf etwa 10 °C bis 15 °C gebracht werden. Dies wird im allgemeinen durch eine externe Kälteanlage oder durch kaltes Kühlwasser bewerkstelligt, das einem mit trockenem Stickstoff betriebenen Verdunstungskühler entnommen wird. Diese Vorkühlung kann nun zumindest teilweise von dem gereinigten zweiten Teilstrom übernommen werden, so daß die Kosten für die Kälteanlage verringert werden beziehungsweise der Stickstoff für andere Aufgaben zur Verfügung steht.

In einer zweiten Variante wird bei der arbeitsleistenden Entspannung des zweiten Teilstroms gewonnene Arbeit in einer dritten Verdichterstufe zur Nachverdichtung des dritten Teilstroms eingesetzt.

Diese dritte Verdichterstufe ist vorzugsweise der zweiten Verdichterstufe vorgeschaltet und dient

zur Erhöhung der Druckdifferenz bei der Entspannung des dritten Teilstroms.

Günstig ist es außerdem, wenn stromabwärts der Reinigungsstufe zusätzlich oder alternativ ein vierter Teilstrom abgezweigt, in einer vierten Verdichterstufe nachverdichtet, anschließend abgekühlt, entspannt und in die Druckstufe eingespeist wird, wobei bei der arbeitsleistenden Entspannung des zweiten Teilstroms gewonnene Arbeit zur Nachverdichtung des vierten Teilstroms in der vierten Verdichterstufe eingesetzt wird. Die Entspannung des vierten Teilstromes wird im allgemeinen durch ein Drosselventil bewerkstelligt.

Die Numerierung der Verdichterstufen ist hier zu ihrer klaren Unterscheidung eingeführt, sie bedeutet nicht, daß bei Existenz der vierten Verdichterstufe auch notwendigerweise die oben erwähnte zweite oder dritte Verdichterstufe vorhanden sein müssen.

Es hat sich jedoch als vorteilhaft erwiesen, wenn der dritte und der vierte Teilstrom in einer gemeinsamen dritten Verdichterstufe nachverdichtet werden. Dritte und vierte Verdichterstufe werden dabei als eine einzige Maschine relativ kostengünstig realisiert.

Eine zweite Art der Übertragung der Wärme auf den unter hohem Druck stehenden zweiten Teilstrom besteht nach einem weiteren Aspekt der Erfindung darin, daß die Anwärmmung des zweiten Teilstroms vor seiner Entspannung durch indirekten Wärmetausch mit dem dritten und/oder vierten Teilstrom nach der Nachverdichtung in der dritten beziehungsweise vierten Verdichterstufe durchgeführt wird.

Durch diese Maßnahme läßt sich eine besonders günstige Anpassung der Ströme an die Eintrittstemperatur des Hauptwärmetauschers erreichen, indem der oder die nachverdichteten Teilstrome abgekühlt werden. Die vor Eintritt des zweiten Teilstroms in die Entspannungsturbine zur Verfügung stehende Kälte wird an dieser Stelle besonders effizient eingesetzt.

Eine Nachverdichtung des vierten Teilstroms über den Drucksäulendruck hinaus ist vor allem dann günstig, wenn bei dem Verfahren Sauerstoff unter erhöhtem Druck gewonnen werden soll. Hierbei wird in vorteilhafter Weiterbildung des erfindnerischen Gedankens flüssiger Sauerstoff aus der Niederdruckstufe herausgeführt, auf Druck gebracht und in indirektem Wärmeaustausch mit dem nachverdichteten vierten Teilstrom verdampft.

Die unter höherem als Drucksäulendruck zur Verfügung stehende Teilmenge der Luft wird hier für eine energetisch günstige Herstellung von Drucksauerstoff verwendet. Der Sauerstoff wird in flüssiger Form auf Druck gebracht (entweder durch eine Pumpe oder durch Ausnützung eines hydrostatischen Potentials) und anschließend unter dem

erhöhten Druck verdampft. Die Hochdruckluft kondensiert im Gegenstrom zum verdampfenden Sauerstoff und gibt dabei latente Wärme ab. Der indirekte Wärmetausch wird vorzugsweise in dem Hauptwärmetauscherblock vorgenommen, den auch die anderen Einsatz- und Produktströme durchströmen.

Dabei ist es günstig, wenn der partiell kondensierte vierte Teilstrom anschließend oberhalb des ersten Teilstroms in die Druckstufe eingeleitet wird.

In der Regel kondensiert bei dem Wärmetausch mit Drucksauerstoff der größte Teil der Hochdruckluft, so daß ein gewisser Vortrenneffekt ausgenutzt werden kann, indem das Kondensat mindestens einen theoretischen Boden, vorzugsweise etwa vier bis acht theoretische Böden oberhalb der übrigen Drucksäulenluft eingespeist wird.

Besonders vorteilhaft ist die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens Gewinnung von Sauerstoff geringer Reinheit. Hiermit sind Sauerstoffreinheiten unterhalb von 99%, vorzugsweise zwischen 85% und 98% (bezogen auf das Volumen) gemeint. Bei Luftzerlegungsanlagen (mehr als 100.000 Nm³/h, vorzugsweise mehr als 200.000 Nm³/h, höchst vorzugsweise zwischen 200.000 und 400.000 Nm³/h Zerlegungsluft) kommen die Vorteile der Erfindung besonders deutlich zum Tragen. Vorteilhaft ist auch ein Einsatz im Rahmen von GUD-(combined cycle)-Anlagen oder von Anlagen zur Stahlgewinnung (z.B. COREX-Verfahren).

Im folgenden werden die Erfindung und weitere Einzelheiten der Erfindung anhand zweier Ausführungsbeispiele näher erläutert, die in den Figuren 1 und 2 schematisch dargestellt ist. Soweit wie möglich werden in beiden Zeichnungen für analoge Verfahrensschritte dieselben Bezugszeichen verwendet.

Gemäß dem Verfahrensschema der Figur 1 wird atmosphärische Luft über eine Leitung 1 von einer ersten Verdichterstufe 2 angesaugt und auf einen Druck von 5 bis 10 bar vorzugsweise etwa 5,65 bar, komprimiert, auf 5 bis 25° C, vorzugsweise etwa 12° C abgekühlt und in einer mit einem Molsieb gefüllten Reinigungsstufe 4 von Verunreinigungen wie beispielsweise Wasser, Kohlendioxid und Kohlenwasserstoffen befreit.

Unmittelbar hinter der Reinigungsstufe 4 wird die Einsatzluft in einen ersten Teilstrom 101 und in einen zweiten Teilstrom 102 verzweigt. Der erste Teilstrom 101 wird im Hauptwärmetauscher 5 gegen Produktströme abgekühlt und in die Druckstufe 7 einer gewöhnlichen zweistufigen Rektifiziersäule 6 eingespeist. Als Produkte werden der Niederdruckstufe 8 (Arbeitsdruck 1,2 bis 1,6 bar, vorzugsweise etwa 1,3 bar) gasförmiger Sauerstoff 9 und gasförmiger Stickstoff 10 entnommen und im Hauptwärmetauscher 5 auf etwa Umgebungstemperatur angewärmt. Der Stickstoff kann zur Rege-

nerierung des Molsiebs der Reinigungsstufe 4 eingesetzt (Leitung 11) und/oder auch für andere Zwecke, beispielsweise zur Abkühlung von Kühlwasser in einem Verdunstungskühler über Leitung 12 abgezogen werden.

Der zweite Teilstrom 102 wird erfindungsgemäß in einem Wärmetauscher 3 gegen die verdichtete Einsatzluft angewärmt, in einer Turbine 13 entspannt, abgekühlt und in die Niederdruckstufe 8 eingeblasen. Der Einsatzluftstrom kann zwischen Wärmetauscher 3 und Reinigungsstufe 4 zusätzlich abgekühlt werden (in der Zeichnung nicht dargestellt), beispielsweise durch indirekten Wärmetausch mit durch Verdunstungskühlung abgekühltem Wasser.

Ein dritter Teilstrom 103 wird ebenfalls stromabwärts der Reinigungsstufe 4 abgezweigt, in einem zweiten Verdichter 14 weiterverdichtet, im Hauptwärmetauscher 5 auf eine mittlere Temperatur abgekühlt und danach in einer Turbine 15 zur Kälteerzeugung entspannt. Die beim Entspannen des Teilstroms gewonnene Arbeit wird mechanisch auf den zweiten Verdichter 14 übertragen. Der entspannte dritte Teilstrom 103 wird gemeinsam mit dem entspannten und abgekühlten zweiten Teilstrom 102 in die Niederdruckstufe 8 eingeführt.

Die Figur 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel für eine zweite Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens. Der zweite Teilstrom wird hier an einem Verzweigungspunkt 21 vom ersten Teilstrom 101 abgezweigt, im Wärmetauscher 3' angewärmt und in der Turbine 13' entspannt. Die dabei gewonnene Arbeit wird auf einen dritten Verdichter 16 übertragen.

Der dritte Teilstrom wird im dritten Verdichter auf einen Druck von mindestens 15 bar, vorzugsweise etwa 20 bis 50 bar, komprimiert und anschließend im Wärmetauscher 3' gegen den zweiten Teilstrom 102 vor dessen Entspannung abgekühlt, bevor er den mit der Turbine 15 gekoppelten zweiten Nachverdichter 14 erreicht.

Hinter der dritten Verdichterstufe 16 und dem Wärmetauscher 3' wird aus dem dritten Teilstrom ein vierter Teilstrom 104 abgezweigt (22), im Hauptwärmetauscher 5 abgekühlt und in die Druckstufe 7 eingedrosselt. Im Gegenstrom hierzu wird Sauerstoff verdampft, der über Leitung 9 der Niederdruckstufe entnommen und in einer Pumpe 17 auf einen Druck von mindestens 4 bar, vorzugsweise 20 bis 100 bar, gebracht wurde. Die Hochdruckluft im vierten Teilstrom kondensiert bei dem Wärmeaustausch fast vollständig und wird oberhalb des ersten Teilstroms 101 in die Druckstufe 7 eingespeist.

Das erfindungsgemäße Verfahren mit Direkteinspeisung von Einsatzluft in die Niederdruckstufe erweist sich als wirtschaftlich günstig, wenn beim Produktsauerstoff (Leitungen 23 und 24 im Ausführungs-

beispiel) eine Reinheit von 85 bis 98% erzielt werden soll. Falls beispielsweise eine Sauerstoffreinheit von 96% gewünscht ist, können bis zu 35% der Einsatzluft über den zweiten und dritten Teilstrom 102, 103 direkt in die Niederdruckstufe eingespeist werden, ohne die Sauerstoffausbeute merklich zu verringern.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Tieftemperaturerzeugung von Luft, bei dem Einsatzluft (1) verdichtet (2), gereinigt (4), abgekühlt (5) und in mehrere Teilströme aufgeteilt in die Druckstufe (7) und in die Niederdruckstufe (8) einer zweistufigen Rektifiziereinrichtung (6) eingeleitet wird, wobei
 - ein erster Teilstrom (101) der Druckstufe (7) und
 - ein zweiter Teilstrom (102) der Niederdruckstufe (8) zugeleitet werden,

dadurch gekennzeichnet, daß

- die Einsatzluft (1) in einer ersten Verdichterstufe (2) auf etwa Druckstufendruck gebracht, in einer Reinigungsstufe (4) durch Adsorption gereinigt und anschließend in den ersten (101) und zweiten (102) Teilstrom aufgeteilt wird und
- der zweite Teilstrom (102) vor der Einspeisung in die Niederdrucksäule (8) in indirektem Wärmetausch (3, 3') gegen verdichtete Einsatzluft angewärmt und arbeitsleistend entspannt (13, 13') wird und daß
- bei der Entspannung (13, 13') des zweiten Teilstroms gewonnene Arbeit zur Verdichtung (2,16) eines Prozeßstroms, insbesondere von Einsatzluft verwendet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** stromabwärts der Adsorption (4) ein dritter Teilstrom (103) abgezweigt, in einer zweiten Verdichterstufe (14) nachverdichtet, anschließend abgekühlt (5), arbeitsleistend entspannt (15) und in die Niederdruckstufe (8) eingespeist wird, wobei bei der arbeitsleistenden Entspannung (15) des dritten Teilstroms gewonnene Arbeit zur Nachverdichtung des dritten Teilstroms in der zweiten Verdichterstufe (14) eingesetzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei der arbeitsleistenden Entspannung (13) des zweiten Teilstroms gewonnene Arbeit zum Antrieb der ersten Verdichterstufe (2) eingesetzt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet,**

zeichnet, daß die Anwärmung des zweiten Teilstroms vor seiner Entspannung durch indirekten Wärmetausch (3) mit Einsatzluft hinter der ersten Verdichterstufe (2) und vor der Reinigungsstufe (4) durchgeführt wird.

5

5. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei der arbeitsleistenden Entspannung (13') des zweiten Teilstroms gewonnene Arbeit in einer dritten Verdichterstufe (16) zur Nachverdichtung des dritten Teilstroms eingesetzt wird. 10

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß stromabwärts der Reinigungsstufe (4) ein vierter Teilstrom (104) abgezweigt, in einer vierten Verdichterstufe (16) nachverdichtet, anschließend abgekühlt (5), entspannt und in die Druckstufe (7) eingespeist wird, wobei bei der arbeitsleistenden Entspannung (13') des zweiten Teilstroms gewonnene Arbeit zur Nachverdichtung des vierten Teilstroms in der vierten Verdichterstufe (16) eingesetzt wird. 15
20
25

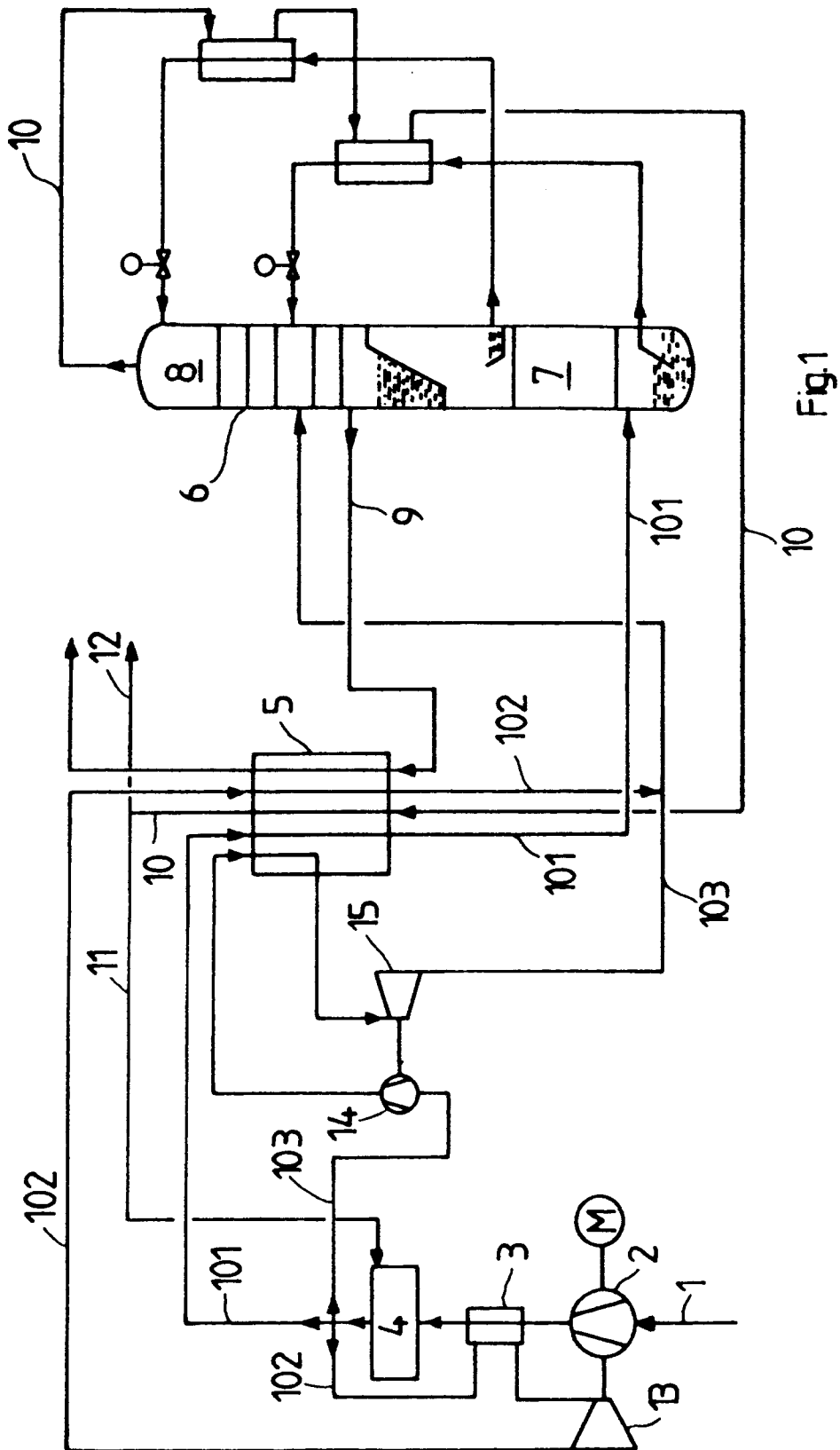
7. Verfahren nach Anspruch 5 und 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß dritter und vierter Teilstrom in einer gemeinsamen dritten Verdichterstufe (16) nachverdichtet werden. 30

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Anwärmung des zweiten Teilstroms vor seiner Entspannung durch indirekten Wärmetausch (3') mit dem dritten und/oder vierten Teilstrom nach der Nachverdichtung in der dritten beziehungsweise vierten Verdichterstufe (16) durchgeführt wird. 35

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß flüssiger Sauerstoff aus der Niederdruckstufe (8) herausgeführt (9), auf Druck gebracht (17) und in indirektem Wärmeaustausch (5) mit dem nachverdichteten vierten Teilstrom (104) verdampft wird. 40
45

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß der vierte Teilstrom (104) bei dem indirekten Wärmetausch (5) mit verdampfendem Sauerstoff mindestens teilweise kondensiert und anschließend oberhalb des ersten Teilstroms (101) in die Druckstufe (7) eingeleitet wird. 50
55

11. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10 zur Gewinnung von Sauerstoff geringer Reinheit.



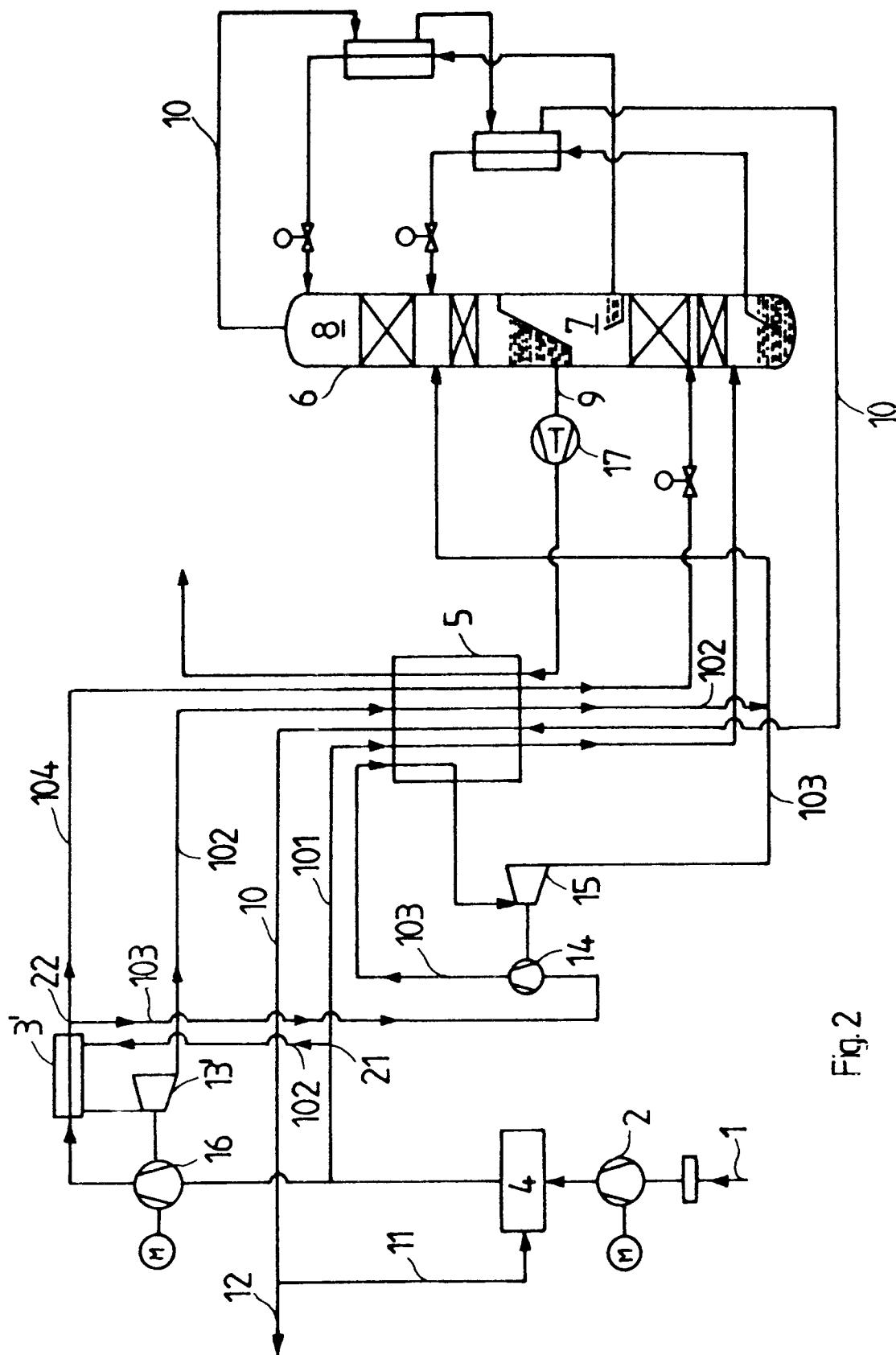


Fig. 2



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 92 10 4008

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
X	DE-A-3 643 359 (LINDE) * Auszug * * Spalte 3, Zeile 50 - Spalte 4, Zeile 16 * * Abbildung 1 * ---	1	F25J3/04
X	GB-A-1 520 103 (AIR PRODUCTS AND CHEMICALS) * Seite 1, Zeile 39 - Zeile 71 * * Seite 2, Zeile 42 - Zeile 104 * * Abbildung *	1	
A	-----	2	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)
			F25J
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 06 JULI 1992	
		Prüfer SIEM T. O.	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	