



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 031 765 A1** 2009.01.08

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 031 765.6**

(22) Anmeldetag: **07.07.2007**

(43) Offenlegungstag: **08.01.2009**

(51) Int Cl.⁸: **F25J 3/04 (2006.01)**
F25J 1/00 (2006.01)

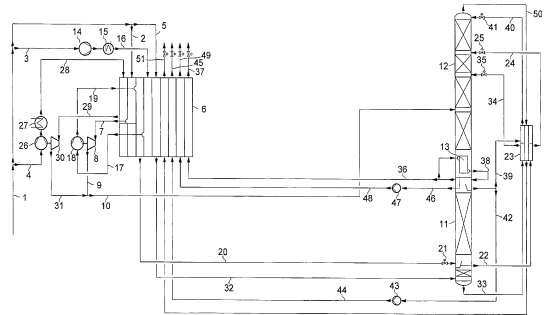
(71) Anmelder:
Linde AG, 80807 München, DE

(72) Erfinder:
Rottmann, Dietrich, 81737 München, DE;
Schliebitz, Florian, 80803 München, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Tieftemperaturerlegung von Luft**

(57) Zusammenfassung: Das Verfahren und die Vorrichtung dienen zur Tieftemperaturerlegung von Luft in einem Destilliersäulen-System, das mindestens eine Hochdrucksäule (11) und eine Niederdrucksäule (12) aufweist. Einsatzluft (20, 32) wird in die Hochdrucksäule (11) eingeleitet. Ein flüssiger Produktstrom (42; 46) wird aus dem Destilliersäulen-System entnommen, in flüssigem Zustand auf einen erhöhten Druck gebracht (43; 47) und unter diesem erhöhten Druck durch indirekten Wärmeaustausch (6) verdampft oder pseudo-verdampft und schließlich als gasförmiger Produktstrom (45; 49) abgezogen. Die gesamte Einsatzluft (1) wird in einem Hauptluftverdichter auf einen ersten Druck verdichtet, der mindestens gleich dem Betriebsdruck der Hochdrucksäule (11) ist, und anschließend in einer Reinigungsvorrichtung gereinigt. Ein erster Teilstrom (2, 7) der Einsatzluft wird unter etwa dem ersten Druck einer ersten Entspannungsmaschine (8) zugeführt, dort arbeitsleistend auf etwa den Betriebsdruck der Niederdrucksäule (12) entspannt und anschließend in die Niederdrucksäule (12) eingeführt (10). Ein zweiter Teilstrom (3) der Einsatzluft wird in einem ersten Nachverdichter (14) auf einen zweiten Druck verdichtet, der höher als der erste Druck ist. Mindestens ein Teil (17) des zweiten Teilstroms (16) stromabwärts der Verdichtung wird in einem zweiten Nachverdichter (18) auf einen dritten Druck nachverdichtet, der höher als der zweite Druck ist, dem indirekten Wärmeaustausch (6) zur Verdampfung beziehungsweise ...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren durch Tieftemperaturzerlegung von Luft, insbesondere zur Erzeugung von gasförmigem Drucksauerstoff.

[0002] Verfahren und Vorrichtungen zur Tieftemperaturzerlegung von Luft sind zum Beispiel aus Hausen/Linde, Tieftemperaturtechnik, 2. Auflage 1985, Kapitel 4 (Seiten 281 bis 337) bekannt.

[0003] Das Destilliersäulen-System der Erfindung kann als Zweisäulensystem (zum Beispiel als klassisches Linde-Doppelsäulensystem), oder auch als Drei- oder Mehrsäulensystem ausgebildet sein. Zusätzlich zu den Kolonnen zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung können weitere Vorrichtungen zur Gewinnung anderer Luftkomponenten, insbesondere von Edelgasen vorgesehen sein, beispielsweise eine Argon- oder eine Krypton-Xenon-Gewinnung.

[0004] Die Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren, in dem mindestens ein gasförmiges Druckprodukt gewonnen wird, indem ein flüssiger Produktstrom aus dem Destilliersäulen-System zur Stickstoff-Sauerstoff-Trennung entnommen, in flüssigem Zustand auf einen erhöhten Druck gebracht und unter diesem erhöhten Druck durch indirektem Wärmeaustausch verdampft oder (bei überkritischem Druck) pseudo-verdampft wird. Derartige Innenverdichtungsverfahren sind zum Beispiel bekannt aus DE 830805, DE 901542 (= US 2712738/US 2784572), DE 952908, DE 1103363 (= US 3083544), DE 1112997 (= US 3214925), DE 1124529, DE 1117616 (= US 3280574), DE 1226616 (= US 3216206), DE 1229561 (= US 3222878), DE 1199293, DE 1187248 (= US 3371496), DE 1235347, DE 1258882 (= US 3426543), DE 1263037 (= US 3401531), DE 1501722 (= US 3416323), DE 1501723 (= US 3500651), DE 2535132 (= US 4279631), DE 2646690, EP 93448 B1 (= US 4555256), EP 384483 B1 (= US 5036672), EP 505812 B1 (= US 5263328), EP 716280 B1 (= US 5644934), EP 842385 B1 (= US 5953937), EP 758733 B1 (= US 5845517), EP 895045 B1 (= US 6038885), DE 19803437 A1, EP 949471 B1 (= US 6185960 B1), EP 955509 A1 (= US 6196022 B1), EP 1031804 A1 (= US 6314755), DE 19909744 A1, EP 1067345 A1 (= US 6336345), EP 1074805 A1 (= US 6332337), DE 19954593 A1, EP 1134525 A1 (= US 6477860), DE 10013073 A1, EP 1139046 A1, EP 1146301 A1, EP 1150082 A1, EP 1213552 A1, DE 10115258 A1, EP 1284404 A1 (= US 2003051504 A1), EP 1308680 A1 (= US 6612129 B2), DE 10213212 A1, DE 10213211 A1, EP 1357342 A1 oder DE 10238282 A1.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein derartiges Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung wirtschaftlich besonders günstig zu gestalten.

[0006] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

[0007] Der Antrieb des Kaltverdichters durch die erste Entspannungsmaschine ist insbesondere energetisch besonders günstig. Bei vielen Innenverdichtungsverfahren, die mit relativ hohem Luftdruck gefahren werden, weist die Einsatzluft ein Druckpotential auf, das in der beziehungsweise den Entspannungsmaschinen mehr Kälte erzeugen würde, als in dem Prozess verwendet werden kann. Die überschüssige Energie wird bei der Erfindung zum Antrieb des Kaltverdichters genutzt, der den zweiten Teilstrom der Einsatzluft auf einen besonders hohen Druck bringt.

[0008] Vorzugsweise weist das Verfahren eine zweite Entspannungsmaschine auf, in der ein dritter Teilstrom der Einsatzluft arbeitsleistend entspannt wird. Der Austrittsdruck der zweiten Entspannungsmaschine liegt beispielsweise etwa auf dem Niveau der Niederdrucksäule oder der Hochdrucksäule. Je nachdem wird die entspannte Luft in die Niederdrucksäule oder in die Hochdrucksäule eingeleitet.

[0009] Die Erfindung sowie weitere Einzelheiten der Erfindung werden im Folgenden anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Hierbei zeigen:

[0010] [Fig. 1](#) ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens mit zwei Einblaseturbinen,

[0011] [Fig. 2](#) ein zweites Ausführungsbeispiel, bei dem eine Turbine in die Hochdrucksäule entspannt,

[0012] [Fig. 3](#) ein weiteres Ausführungsbeispiel mit zwei Einblaseturbinen und

[0013] [Fig. 4](#) ein viertes Ausführungsbeispiel, das Aspekte der [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) kombiniert.

[0014] In [Fig. 1](#) wird atmosphärische Luft in einem Hauptluftverdichter auf einen ersten Druck von beispielsweise 5 bis 7,5 bar, vorzugsweise 5,5 bis 6 bar verdichtet und anschließend in einer Reinigungsvorrichtung gereinigt (nicht dargestellt). Die gereinigte Einsatzluft **1** wird unter etwa dem ersten Druck auf vier Teilströme **2, 3, 4, 5** aufgeteilt.

[0015] Der erste Teilstrom **2** wird dem warmen Ende eines Hauptwärmetauschers **6** zugeführt, dort auf eine erste Zwischentemperatur abgekühlt, über Leitung **7** wieder entnommen und in einer ersten Entspannungsmaschine **8** arbeitsleistend auf einen Druck von beispielsweise 1,3 bis 1,8 bar, vorzugsweise 1,3 bis 1,6 bar entspannt. Der arbeitsleistend entspannte erste Teilstrom wird über die Leitungen **9** und **10** in die Niederdrucksäule **12** eines Destilliersäu-

len-Systems eingeleitet, das außerdem eine Hochdrucksäule **11** und einen Hauptkondensator **13** aufweist.

[0016] Der zweite Teilstrom **3** der Einsatzluft wird in einem ersten Nachverdichter **14** auf einen zweiten Druck von beispielsweise 29 bis 60 bar, vorzugsweise 35 bis 50 bar nachverdichtet und strömt nach Abkühlung in einem Nachkühler **15** über Leitung **16** ebenfalls dem warmen Ende des Hauptwärmetauschers **6** zu. Bei einer zweiten Zwischentemperatur wird der zweite Teilstrom über Leitung **17** entnommen und einem zweiten Nachverdichter **18** zugeführt, der als Kaltverdichter ausgebildet und mechanisch mit der ersten Entspannungsmaschine **8** gekoppelt ist. Der Austrittsdruck des Kaltverdichters **18** ("dritter Druck") beträgt beispielsweise 40 bis 85 bar, vorzugsweise 45 bis 70 bar. Über Leitung **19** wird die Hochdruckluft bei einer dritten Zwischentemperatur, die höher als die erste Zwischentemperatur ist, in den Hauptwärmetauscher **6** eingeführt und durchströmt diesen bis zum kalten Ende. Der dritte Teilstrom **19** unter dem dritten Druck wird in dem Hauptwärmetauscher abgekühlt und kondensiert oder (bei überkritischem Druck) pseudo-kondensiert. Die kalte Hochdruckluft **20** wird in einem Drosselventil **21** auf etwa den Betriebsdruck der Hochdrucksäule **11** entspannt, der beispielsweise 5 bis 7,5 bar, vorzugsweise 5,5 bis 6 bar beträgt, und in die Hochdrucksäule eingeleitet. Mindestens ein Teil der eingeleiteten Flüssigluft wird über Leitung **22** wieder entnommen, in einem Unterkühlungs-Gegenströmer **23** abgekühlt und über Leitung **24** und Drosselventil **25** in die Niederdrucksäule **12** eingespeist.

[0017] Der dritte Teilstrom **4** der Einsatzluft wird in einem dritten Nachverdichter **26** mit Nachkühler **27** auf einen vierten Druck von beispielsweise 7,5 bis 11 bar, vorzugsweise 8 bis 9 bar nachverdichtet und über Leitung **28** zum Hauptwärmetauscher **6** geführt. Bei einer vierten Zwischentemperatur wird der abgekühlte dritte Teilstrom **29** einer zweiten Entspannungsmaschine **30** zugeleitet und dort arbeitsleistend auf einen Druck von beispielsweise 1,3 bis 1,8 bar, vorzugsweise 1,3 bis 1,6 bar entspannt. Der arbeitsleistend entspannte dritte Teilstrom **31** wird gemeinsam mit dem ersten Teilstrom **9** über Leitung **10** der Niederdrucksäule **12** zugeleitet. Die zweite Entspannungsmaschine **30** ist mechanisch mit dem dritten Nachverdichter **26** gekoppelt und treibt diesen an. Beide Entspannungsmaschinen sind vorzugsweise als Turboexpander ausgebildet und entspannen auf etwa den Druck der Niederdrucksäule (Einblaseturbinen).

[0018] Der vierte Teilstrom **5** der Einsatzluft durchströmt unter etwa dem ersten Druck den Hauptwärmetauscher **6** und wird über Leitung **32** gasförmig dem Sumpf der Hochdrucksäule **11** zugeleitet.

[0019] Flüssiger Rohsauerstoff **33** wird in dem Unterkühlungs-Gegenströmer **23** abgekühlt und über Leitung **34** und Drosselventil **35** in die Niederdrucksäule **12** eingespeist. Ein Teil des Kopfgases der Hochdrucksäule **11** wird über Leitung **36** abgezogen, im Hauptwärmetauscher **6** auf etwa Umgebungstemperatur angewärmt und schließlich bei **37** als gasförmiges Mitteldruckstickstoffprodukt abgezogen. Der Rest des Kopfgases wird im Hauptkondensator **13** kondensiert. Der dabei gewonnene Flüssigstickstoff **38** wird zu einem ersten Teil **39** über den Unterkühlungs-Gegenströmer **23**, eine Leitung **40** und ein Drosselventil **41** als Rücklauf auf den Kopf der Niederdrucksäule **12** aufgegeben. Ein zweiter Teil dient als Rücklauf in der Hochdrucksäule **11**. Ein dritter Teil **42** wird in einer Stickstoffpumpe **43** in flüssigem Zustand auf einen erhöhten Druck von beispielsweise 10 bis 50 bar, vorzugsweise 10 bis 15 bar gebracht, über Leitung **44** zum Hauptwärmetauscher **6** geführt und dort unter diesem erhöhten Druck durch indirekten Wärmeaustausch mit Einsatzluft verdampft oder pseudo-verdampft und auf etwa Umgebungstemperatur angewärmt. Er verlässt die Anlage über Leitung **45** als gasförmiges Druckstickstoffprodukt.

[0020] Vom Sumpf der Niederdrucksäule **12** wird flüssiger Sauerstoff **46** abgezogen, in einer Sauerstoffpumpe **47** in flüssigem Zustand auf einen erhöhten Druck von beispielsweise 10 bis 50 bar, vorzugsweise 12 bis 40 bar gebracht, über Leitung **48** zum Hauptwärmetauscher **6** geführt und dort unter diesem erhöhten Druck durch indirekten Wärmeaustausch mit Einsatzluft verdampft oder pseudo-verdampft und auf etwa Umgebungstemperatur angewärmt. Er verlässt die Anlage über Leitung **49** als gasförmiges Drucksauerstoffprodukt.

[0021] Vom Kopf der Niederdrucksäule **12** wird gasförmiger Stickstoff **50** abgezogen und im Unterkühlungs-Gegenströmer **23** und im Hauptwärmetauscher **6** angewärmt. Der warme drucklose Stickstoff **51** kann als Produkt genutzt, verworfen und/oder in der Anlage als Regeneriergas in der nicht dargestellten Reinigungsvorrichtung und/oder als trockenes Gas in einem Verdunstungskühler zur Abkühlung von Kühlwasser verwendet werden.

[0022] [Fig. 2](#) unterscheidet sich dadurch von [Fig. 1](#), dass der Austrittsdruck der zweiten Entspannungsmaschine **130** höher ist, nämlich auf dem Niveau des Betriebsdrucks der Hochdrucksäule **11** liegt. Folglich wird der arbeitsleistend entspannte dritte Teilstrom **131** hier mit dem kalten vierten Teilstrom vereinigt und über Leitung **132** der Hochdrucksäule **11** zugeführt.

[0023] Bei dem Verfahren von [Fig. 2](#) werden außerdem Flüssigprodukte gewonnen, indem ein Teil **136** des flüssigen Sauerstoffs aus dem Sumpf der Niederdrucksäule **12** als Flüssigsauerstoffprodukt (LOX)

und ein Teil des im Hauptkondensator **13** erzeugten flüssigen Stickstoffs **142a**, **142b** als Flüssigstickstoffprodukt (LIN) abgezogen wird.

[0024] Rücklaufflüssigkeit **139–140–141** für die Niederdrucksäule **12** wird der Hochdrucksäule **11** hier an einer Zwischenstelle entnommen.

[0025] Das Verfahren der [Fig. 3](#) unterscheidet sich von [Fig. 1](#) dadurch, dass der erste, der zweite und der dritte Teilstrom zunächst gemeinsam (203) in einem vierten Nachverdichter **214** mit Nachkühler **215** auf einen Zwischendruck nachverdichtet werden. (Die Nachverdichter **214** und **14** können dabei von verschiedenen Stufen derselben Maschine gebildet werden.) Erst anschließend wird der Strom unter dem Zwischendruck auf den ersten Teilstrom **2**, den zweiten Teilstrom **3** und den vierten Teilstrom **4** aufgeteilt. Dadurch ergeben sich höhere Eintrittsdrücke an den beiden Turbinen **8**, **30**, nämlich beispielsweise 12 bis 16 bar, vorzugsweise 12 bis 14 bar an der ersten Entspannungsmaschine **8** ("zweiter Druck") und beispielsweise 12 bis 16 bar, vorzugsweise 12 bis 14 bar an der zweiten Entspannungsmaschine **30** ("Zwischendruck"). Hierdurch lässt sich ein relativ großer Anteil der Produkte in flüssiger Form gewinnen. Die Flüssigproduktentnahme erfolgt analog zu [Fig. 2](#) aus dem Sumpf der Niederdrucksäule **12** (LOX mit einer Reinheit von 99,5% über Leitungen **146a**, **146b** und/oder LIN über Leitungen **142a**, **142b**). Rücklaufflüssigkeit **139–140–141** für die Niederdrucksäule **12** wird der Hochdrucksäule **11** hier an einer Zwischenstelle entnommen.

[0026] Der innenzuverdichtende flüssige Sauerstoff **46** wird mit einer niedrigeren Reinheit von etwa 95% von einer Zwischenstelle der Niederdrucksäule **12** abgezogen. Zusätzlich kann ein zweites, reineres Sauerstoffprodukt **346**, **348**, **349** durch Innenverdichtung (zweite Sauerstoffpumpe **347**) gewonnen werden. Wegen der Reinsauerstoffgewinnung muss der Luftdruck etwas höher als in den vorbeschriebenen Ausführungsbeispielen sein. Er liegt bei beispielsweise 6 bis 7,5 bar, vorzugsweise 6 bis 7 bar.

[0027] [Fig. 4](#) kombiniert die Luftführung der [Fig. 2](#) mit der Produktentnahme der [Fig. 3](#).

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 830805 [0004]
- DE 901542 [0004]
- US 2712738 [0004]
- US 2784572 [0004]
- DE 952908 [0004]
- DE 1103363 [0004]
- US 3083544 [0004]
- DE 1112997 [0004]
- US 3214925 [0004]
- DE 1124529 [0004]
- DE 1117616 [0004]
- US 3280574 [0004]
- DE 1226616 [0004]
- US 3216206 [0004]
- DE 1229561 [0004]
- US 3222878 [0004]
- DE 1199293 [0004]
- DE 1187248 [0004]
- US 3371496 [0004]
- DE 1235347 [0004]
- DE 1258882 [0004]
- US 3426543 [0004]
- DE 1263037 [0004]
- US 3401531 [0004]
- DE 1501722 [0004]
- US 3416323 [0004]
- DE 1501723 [0004]
- US 3500651 [0004]
- DE 2535132 [0004]
- US 4279631 [0004]
- DE 2646690 [0004]
- EP 93448 B1 [0004]
- US 4555256 [0004]
- EP 384483 B1 [0004]
- US 5036672 [0004]
- EP 505812 B1 [0004]
- US 5263328 [0004]
- EP 716280 B1 [0004]
- US 5644934 [0004]
- EP 842385 B1 [0004]
- US 5953937 [0004]
- EP 758733 B1 [0004]
- US 5845517 [0004]
- EP 895045 B1 [0004]
- US 6038885 [0004]
- DE 19803437 A1 [0004]
- EP 949471 B1 [0004]
- US 6185960 B1 [0004]

- EP 955509 A1 [0004]
- US 6196022 B1 [0004]
- EP 1031804 A1 [0004]
- US 6314755 [0004]
- DE 19909744 A1 [0004]
- EP 1067345 A1 [0004]
- US 6336345 [0004]
- EP 1074805 A1 [0004]
- US 6332337 [0004]
- DE 19954593 A1 [0004]
- EP 1134525 A1 [0004]
- US 6477860 [0004]
- DE 10013073 A1 [0004]
- EP 1139046 A1 [0004]
- EP 1146301 A1 [0004]
- EP 1150082 A1 [0004]
- EP 1213552 A1 [0004]
- DE 10115258 A1 [0004]
- EP 1284404 A1 [0004]
- US 2003051504 A1 [0004]
- EP 1308680 A1 [0004]
- US 6612129 B2 [0004]
- DE 10213212 A1 [0004]
- DE 10213211 A1 [0004]
- EP 1357342 A1 [0004]
- DE 10238282 A1 [0004]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Hausen/Linde, Tieftemperaturtechnik, 2. Auflage 1985, Kapitel 4 (Seiten 281 bis 337) [0002]

Patentansprüche

(132) wird.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

1. Verfahren zur Tieftemperaturzerlegung von Luft in einem Destilliersäulen-System, das mindestens eine Hochdrucksäule (11) und eine Niederdrucksäule (12) aufweist, bei dem

– Einsatzluft (20, 32, 132) in die Hochdrucksäule (11) eingeleitet wird,

– ein flüssiger Produktstrom (42; 46; 346) aus dem Destilliersäulen-System entnommen, in flüssigem Zustand auf einen erhöhten Druck gebracht (43; 47; 347) und unter diesem erhöhten Druck durch indirekten Wärmeaustausch (6) verdampft oder pseudo-verdampft und schließlich als gasförmiger Produktstrom (45; 49; 349) abgezogen wird,

– die gesamte Einsatzluft (1) in einem Hauptluftverdichter auf einen ersten Druck verdichtet wird, der mindestens gleich dem Betriebsdruck der Hochdrucksäule (11) ist,

– und anschließend in einer Reinigungsvorrichtung gereinigt wird,

– ein erster Teilstrom (2, 7) der Einsatzluft unter etwa dem ersten Druck einer ersten Entspannungsmaschine (8) zugeführt, dort arbeitsleistend auf etwa den Betriebsdruck der Niederdrucksäule (12) entspannt und anschließend in die Niederdrucksäule (12) eingeführt (10) wird,

– ein zweiter Teilstrom (3) der Einsatzluft in einem ersten Nachverdichter (14) auf einen zweiten Druck verdichtet wird, der höher als der erste Druck ist, und – mindestens ein Teil (17) des zweiten Teilstroms (16) stromabwärts der Verdichtung in einem zweiten Nachverdichter (18) auf einen dritten Druck nachverdichtet wird, der höher als der zweite Druck ist, dem indirekten Wärmeaustausch (6) zur Verdampfung beziehungsweise Pseudo-Verdampfung des flüssigen Produktstroms zugeführt und anschließend in das Destilliersäulen-System eingeleitet (20) wird, wobei der zweite Nachverdichter (18) als Kaltverdichter ausgebildet ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

– mindestens ein Teil der mechanischen Energie, die bei der arbeitsleistenden Entspannung (8) des ersten Teilstroms (7) erzeugt wird, zum Antrieb des zweiten Nachverdichters (18) verwendet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein dritter Teilstrom (4) der Einsatzluft in einer zweiten Entspannungsmaschine (30, 130) arbeitsleistend entspannt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der arbeitsleistend entspannte dritte Teilstrom (31) in die Niederdrucksäule (12) eingeleitet (10) wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der arbeitsleistend entspannte dritte Teilstrom (131) in die Hochdrucksäule (11) eingeleitet

Anhängende Zeichnungen

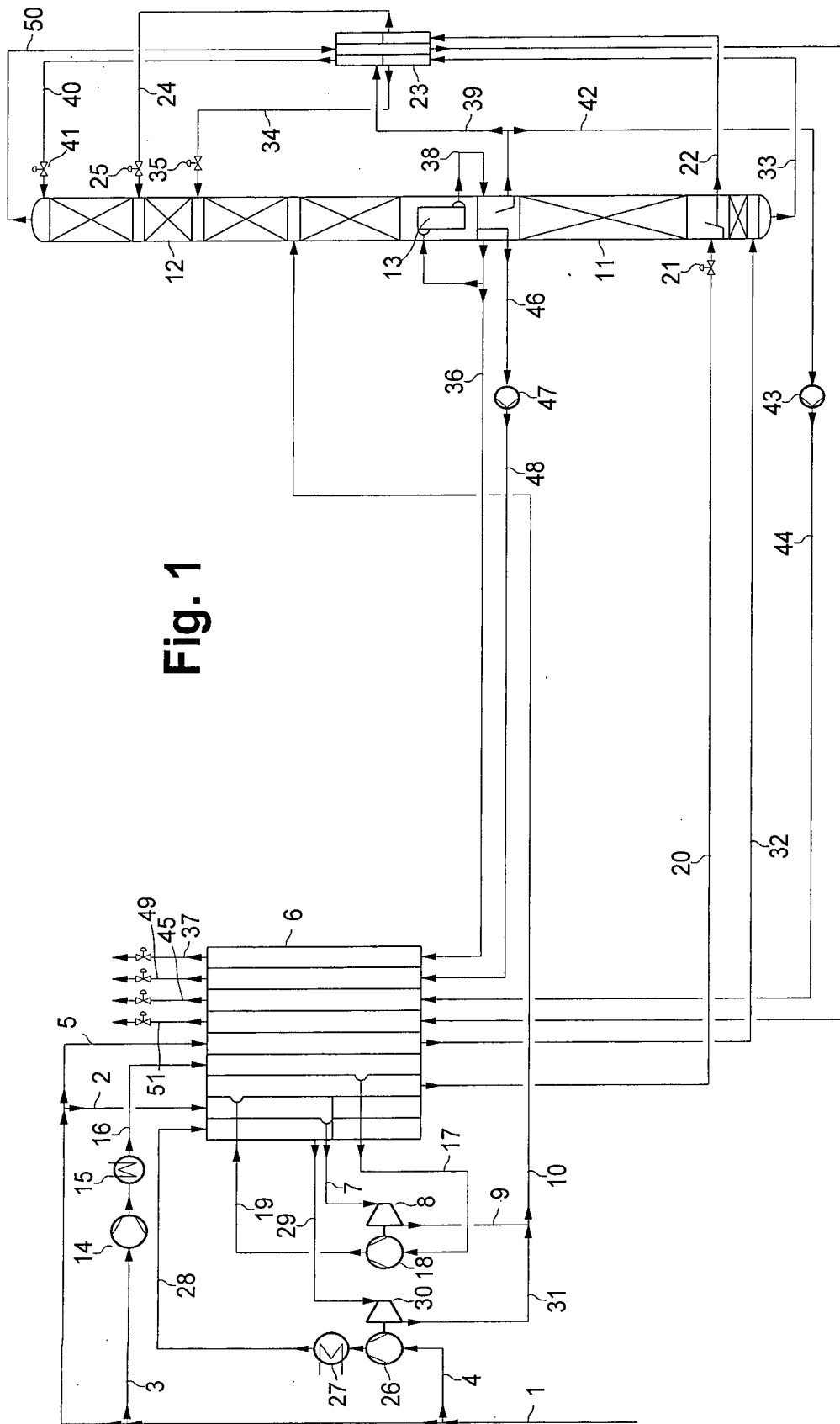


Fig. 1

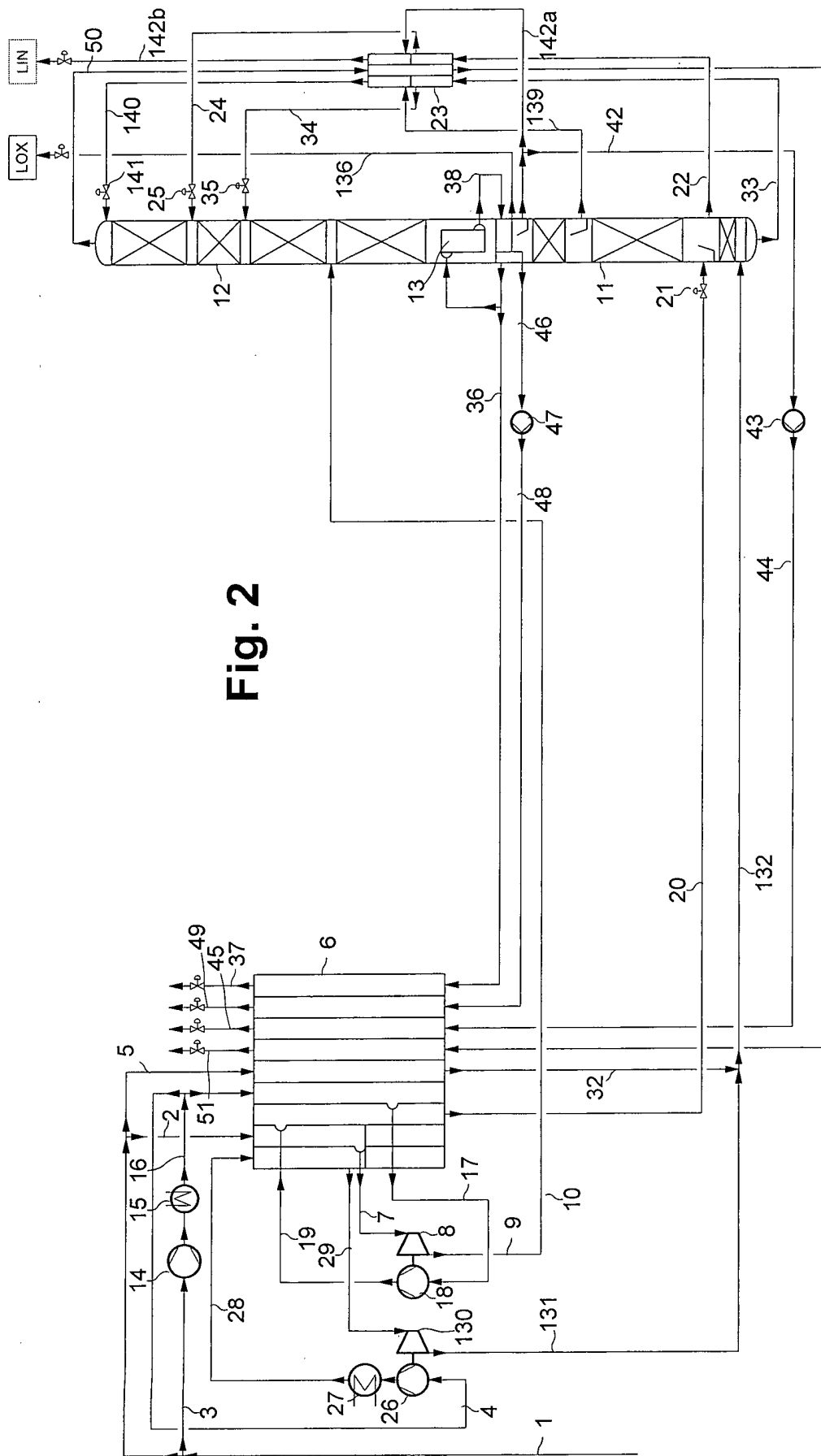


Fig. 2

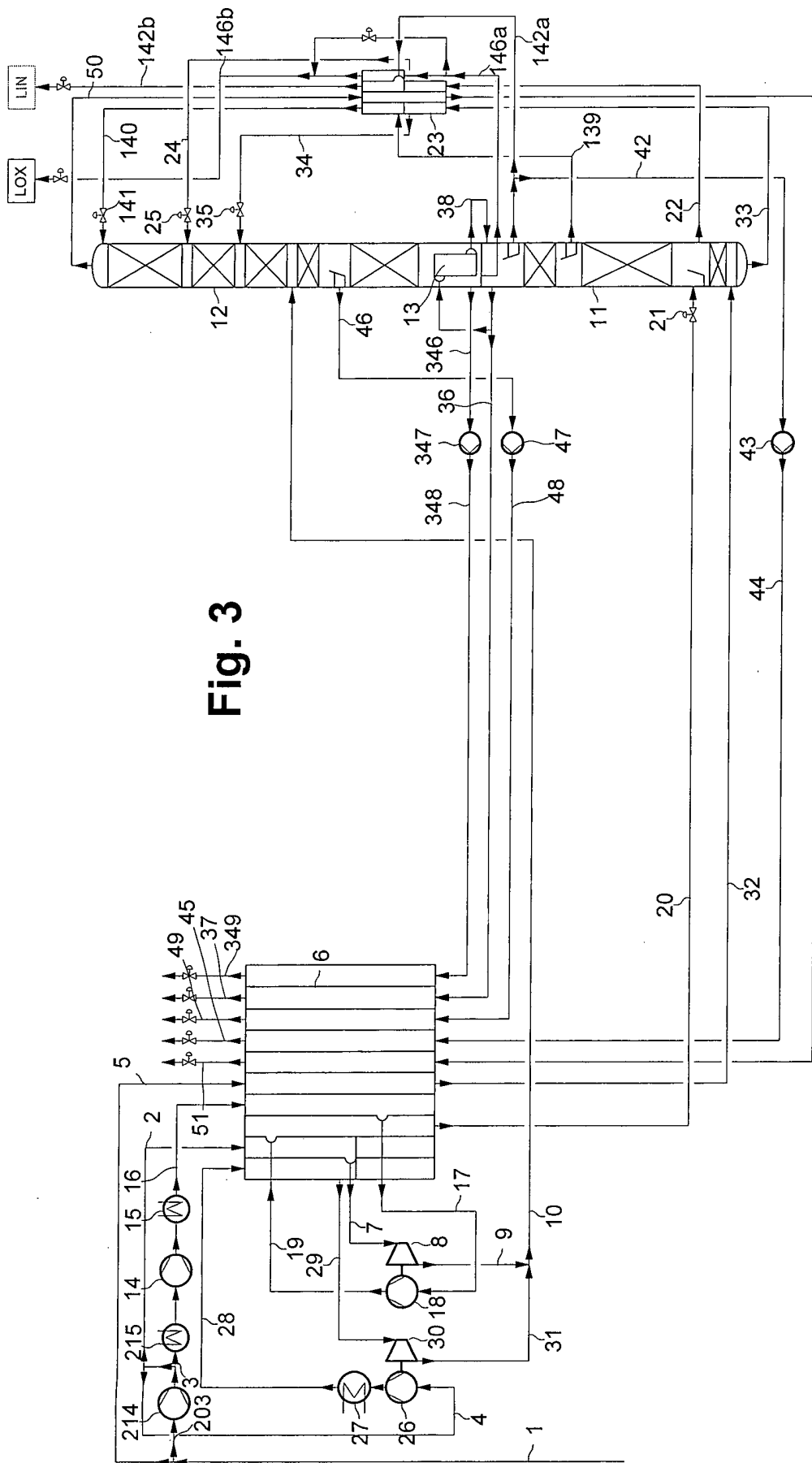


Fig. 3

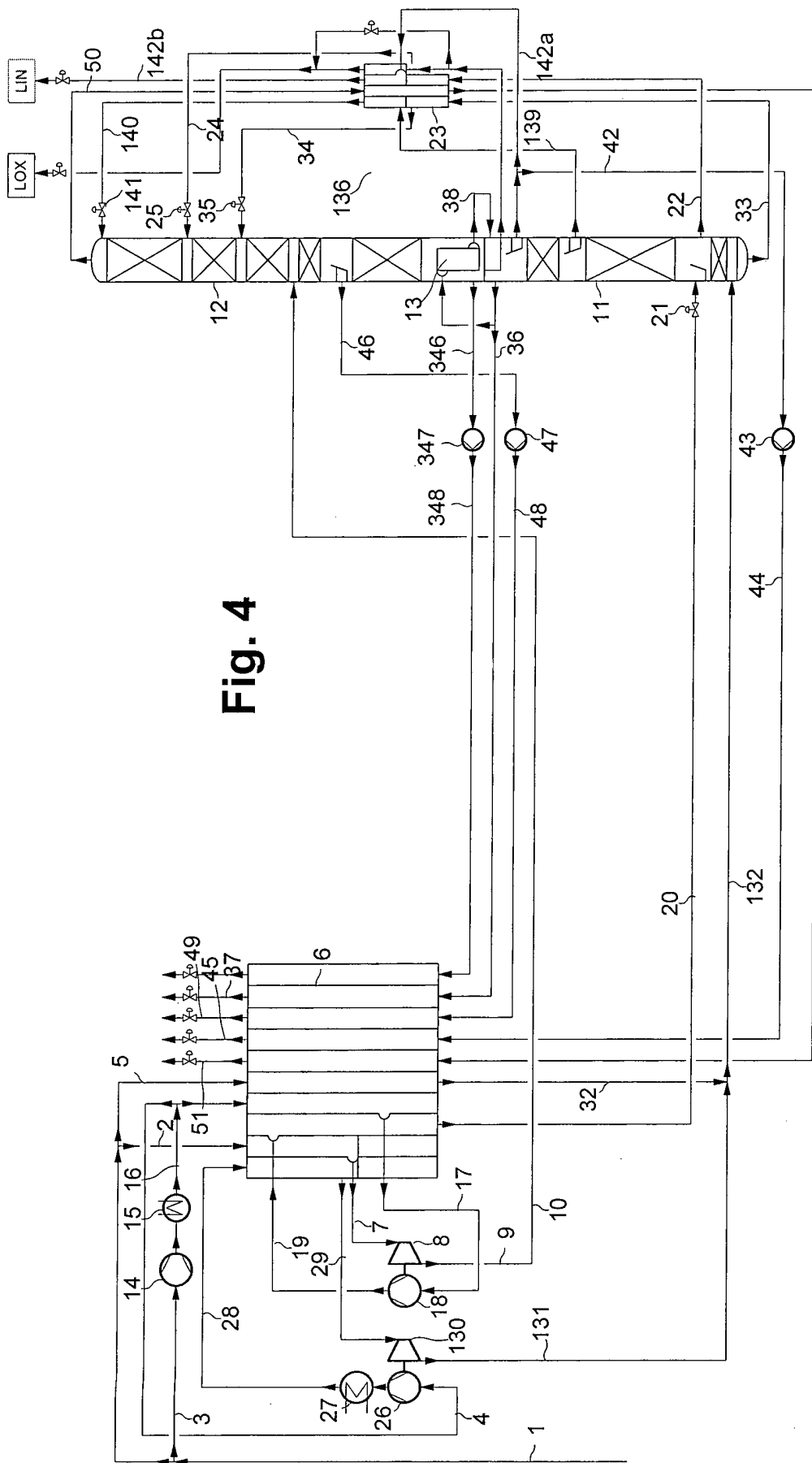


Fig. 4