(19) österreichisches patentamt

(10) **AT 515137 B1 2016-01-15**

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 922/2013
(22) Anmeldetag: 02.12.2013
(45) Veröffentlicht am: 15.01.2016

(51) Int. Cl.: ***B01D 53/22*** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 6565626 B1
US 6168649 B1
WO 2012000727 A1

(73) Patentinhaber:
GRUBER-SCHMIDT JOHANN
1180 WIEN (AT)

(72) Erfinder:
Gruber-Schmidt Johann
1180 Wien (AT)

(74) Vertreter:
CUNOW PATENTANWALTS KG
WIEN

(54) **Verfahren zur Trennung, Aufreinigung und Aufkonzentration von Gasgemischen**

(57) Die Erfindung umfasst eine Vorrichtung zur Trennung, Aufreinigung und Aufkonzentration von Gasgemischen, umfasst den Feedgasstrom von dem Verdichter (1) auf der Druckseite dem Trennmodul (2) zugeführt wird, der Rententatsgasstrom aus dem Trennmodul (2) als Feedgasstrom dem Trennmodul (3) zugeführt wird, der Permeatgasstrom (6) aus dem Trennmodul (2) als Feedgasstrom dem Trennmodul (8) zugeführt wird, der Rententatsgasstrom aus dem Trennmodul (8) dem Drosselregelventil (10) zugeführt wird, der Permeatgasstrom (13)aus dem Trennmodul (8) als Feedgasstrom (13) dem Trennmodul (9) zugeführt wird, der Rententatgasstrom aus dem Trennmodul (9) dem Drosselregelventil (11) zugeführt wird, der Permeatgasstrom (12) aus dem Trennmodul (9) als Offgas (12) gewonnen wird, der Rententatgastrom mit dem Drosselregelventil (10) auf den Saugdruck des Verdichters (1) entspannt wird, und dem Sauggasstrom des Verdichters (1) zugeführt wird, der Rententatgasstrom mit dem Drosselregelventil (11) auf den Saugdruck des Verdichters (1) entspannt wird, und dem Sauggasstrom des Verdichters (1) zugeführt wird und der Rententatgasstrom aus dem Trennmodul (3) als Produktgas (4) gewonnen wird. Die Erfindung umfasst zudem, dass statt dem Drosselregelventil (10,11) eine Entspannungsmaschine (15,16) zur Rückgewinnung von mechanischer und elektrischer Energie verwendet wird, und auf der Produktgasseite eine Entspannungsmaschine (7) verwendet wird, zur Rückgewinnung von mechanischer und elektrischer Energie verwendet wird.

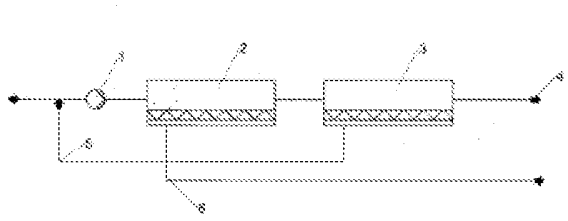


Bild 1

AT 515137 B1 2016-01-15

Beschreibung

[0001] Die Erfindung umfasst eine Vorrichtung zur Trennung, Aufreinigung und Aufkonzentration von Gasgemischen sowie ein Verfahren hierfür.

[0002] Die Vorrichtung im ist Wesentlichen dadurch gekennzeichnet, dass sie jeweils eine Trennmembran enthaltende Trennmodule, zumindest einen Verdichter, zwei Drosselregelventile umfasst, wobei ein Verdichter mit einer Druckseite eines Trennmoduls verbunden ist, eine einen Rententatgasstrom liefernde Seite des Trennmoduls mit einer Druckseite eines weiteren Trennmoduls verbunden ist, sowie eine ein Permeatgas liefernde Seite des Trennmoduls mit einer Aufgabeseite eines dritten Trennmoduls verbunden ist, dass die Rententatgas liefernde Seite des dritten Trennmoduls mit dem Drosselventil verbunden ist, sowie die Permeatgas liefernde Seite des dritten Trennmoduls mit der Druckseite des vierten Trennmoduls verbunden ist, die Rententatgas liefernde Seite des vierten Trennmoduls mit einem weiteren Drosselventil verbunden ist und dass die jeweiligen Austrittsseiten der Drosselventile mit einer Saugseite des Verdichters verbunden sind.

[0003] Das Verfahren ist im Wesentlichen dadurch gekennzeichnet, dass ein aus wenigstens zwei Gasen bestehender Feedgasstrom mittels wenigstens einem eine Trennmembran enthaltendes Trennmodul in einem Permeatgasstrom und einem Rententatgasstrom aufgetrennt wird, der Feedgasstrom von einem Verdichter auf der Druckseite einem Trennmodul zugeführt wird, der Rententatgasstrom aus dem Trennmodul als Feedgasstrom einem weiteren Trennmodul zugeführt wird, der Permeatgasstrom aus dem Trennmodul als Feedgasstrom einem dritten Trennmodul zugeführt wird, der Rententatgasstrom aus dem dritten Trennmodul einem Drosselregelventil zugeführt wird, der Permeatgasstrom aus dem dritten Trennmodul als Feedgasstrom einem vierten Trennmodul zugeführt wird, der Rententatgasstrom aus dem vierten Trennmodul einem weiteren Drosselregelventil zugeführt wird, der Permeatgasstrom aus dem vierten Trennmodul als Offgas gewonnen wird, wenigstens ein Rententatgasstrom mit einem Drosselregelventil auf den Saugdruck des Verdichters entspannt wird und dem Sauggasstrom des Verdichters zugeführt wird und wenigstens ein Rententatgasstrom aus wenigstens einem Trennmodul als Produktgas gewonnen wird.

[0004] Das Trennen von Gasgemischen, die im Rahmen eines chemischen Prozesses anfallen, ist eine Aufgabenstellung, die bei vielen Produktionsverfahren auftritt. Als Anwendungen kann man beispielsweise anführen, die Abtrennung von CO_2 aus Abgasströmen von Kraftwerken, die Abtrennung von CO_2 aus Biogas zur Aufreinigung von Biogasen, die Abtrennung von CO_2 aus Abgasstrom bei der Herstellung von Dimethylether.

[0005] Zum Trennen von Gasgemischen wird ein Trennmodul verwendet, der aus drei Gasströmen besteht. Der Gasstrom, der in den Trennmodul führt, den man auch Feedgasstrom nennt, ist jener, der das zu trennende Gasgemisch mit sich führt. Der Gasstrom, der aus dem Trennmodul führt, der die mit einer Komponente angereicherte Gasströmung mit sich führt, auch der Rententatgasstrom genannt, umfasst das Produktgas. Der dritte Gasstrom, der auch der Offgasstrom genannt wird, im Folgenden auch Permeatgasstrom genannt, ist jener, der das angereicherte Restgas mit sich führt. Die Massenerhaltung bedingt, dass die Summe der zuströmenden Massen und die Summe der abströmenden Massen ident sind, was bedeutet, dass keine der Massenströme im Trennmodul verloren gehen, d.h. weder Sinne einer Leckage oder im Sinne einer chemischen Umwandlung aufgebraucht werden. Der Trennmodul ist also ein gasdichtes System. Energetisch gesehen gilt neben der Erhaltung der Massenströme auch die Erhaltung der Energieströme. Unter Energie versteht man die mechanische Energie in Form von Druck und Temperatur, die thermische Energie in Form der Temperatur, und die chemische Energie in Form der Reaktionsprodukte, welche bei der chemischen Bindung entstehen können. Die chemische Energie führt zu Reaktionswärmen, die bei der Absorption, Adsorption oder Reaktion entstehen. Die an die Umgebung abgegebene oder aufgenommene Wärme vervollständigt die Erhaltung des Energiesatzes.

[0006] Für die Trennung von Gasgemischen gibt es verschiedene Verfahren, wie das mechani-

sche Trennverfahren über Membranen, wo die Druckdifferenz als treibende Kraft angewendet wird, das chemische Verfahren, wo die chemische absorptive Bindung eines oder mehrerer Gaskomponenten an eine flüssige Trägersubstanz im direkten oder indirekten Kontakt angewendet wird, sowie das physikalische Verfahren, wo eine oder mehrere Gaskomponente(n) an eine feste Trägersubstanz adsorptiv gebunden wird (werden).

[0007] Jedes der oben genannten Verfahren benötigt zum Trennen von Gasgemischen Energie, die in Form von Wärme und/oder mechanischer Leistung zur Verfügung gestellt werden muss. Die Trennung von Gasgemischen ist aus thermodynamischer Sicht betrachtet immer ein irreversibler Prozess, der unter Aufwendung einer mechanischen, elektrischen und oder chemischen Leistung erfolgt. Zudem ist der Prozess der Trennung immer verlustbehaftet, was immer zu einem Verlust an elektrischer, mechanischer oder chemischer Energie in Form von Wärme führt. Man stellt aus thermodynamischer Sicht als eine Folge des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik fest, dass die Trennung von Gasgemischen nie von sich aus selbst erfolgt. Da also Energie aufgewendet werden muss, ist die Frage nach der für den Trennprozess günstigsten und geringsten Energiemenge zu stellen.

[0008] Ein so ein zweitstufiges Trennverfahren ist im Patent US 6 565 626 B1 dargestellt. Es handelt sich um ein zweistufiges Verfahren, bei dem zwei Trennmodule in Serie geschalten nach einem Verdichter verwendet werden. Nach dem Verdichter sind zwei Wärmetauscher in Verwendung, wobei der Wärmetauscher unmittelbar nach dem Verdichter die Wärme vom verdichteten Feedmassenstrom auf den aus dem ersten Trennmodul gewonnenen Permeatmassenstrom überträgt. Der nach dem ersten Wärmetauscher in Serie geschaltene zweite Wärmetauscher überträgt die Wärme vom Feedmassenstrom auf den Permeatmassenstrom aus dem zweiten Trennmodul, der so erwärmt wird und dann auf der Sauggasseite des Verdichters rückgeführt wird. Der Trennprozess in diesem Patent ist ein mechanischer Trennprozess basierend auf den physikalischen Eigenschaften der einzelnen Gasatome und Gasmoleküle. Thermodynamisch gesehen kühlt sich durch die Drosselung das Permeat ab. Das Aufwärmen des Permeates über den Wärmetauscher bedingt eine hohe Temperatur des Permeates, das nun auf der Saugseite dem Verdichter zugeführt wird. Das bedeutet, dass die Verdichterarbeit aus thermodynamischen Gründen ansteigen muss, in der Folge mehr Energie verbraucht wird und sich damit eine höhere Austrittstemperatur des verdichteten Feedgases ergibt. Das bedeutet, dass die Rückgewinnung eines Teiles der Verdichtungswärme zu einem höheren Energieverbrauch beim Verdichter führt und da die Feedgastemperatur als Eintrittstemperatur in den ersten Trennmodul steigt, in der Folge damit die Trennleistung des ersten Trennmodules sinkt. Der Permeatstrom, der aus dem ersten Trennmodul, der ebenfalls über den ersten Wärmetauscher erwärmt wird, wird verworfen, was in der Folge einen hohen Verlust an dem gewünschten Produktgasanteil mit sich bringt. Der Nachteil dieser Erfindung sind der hohe energetische Aufwand, und der hohe Verlust an Produktgas im Permeat, bedingt durch den Schlupf, und daraus resultiert eine niedrige Ausbeute. Der zweistufige Prozess in der Gasaufbereitung ist auch in der WO 2012/000727 A1 beschrieben.

[0009] Eine andere Variante in der Verschaltung von Trennmodulen ist in der US 6.168.649.B1 dargestellt. Hier werden drei Trennmodule verwendet, und zwei Verdichter, allerdings bleibt als Grundaufbau der zweistufige in Serie geschaltene Trennmoduleinsatz. Das Feedgas vom ersten Verdichter wird in die erste Trennstufe geleitet. Das daraus gewonnene Rententat wird als angereichertes Produktgas in die zweite Trennstufe geleitet und als angereichertes Produktgas aus der zweiten Trennstufe gewonnen. Das Permeat der ersten Trennstufe wird über einen zweiten Verdichter verdichtet und in eine dritte Trennstufe geleitet. Das aus der dritten Trennstufe angereicherte Produktgas (Rententat) wird auf der Druckseite des ersten Verdichters zurückgeführt und so die Konzentration im Feedmassenstrom angereichert. Die Rückführung des Produktgases aus der dritten Trennstufe auf die Saugseite des Verdichters bedingt die Drosselung im Druckniveau und damit einen Energieverlust an jener Energie, welche man zur Verdichtung über den zweiten Verdichter aufgewandt hat. Die Rückführung des Permeates aus der zweiten Trennstufe auf die Saugseite des ersten Verdichters ist Stand der Technik und in den Patenten WO 2012/ 000727 A1 und US 6 565 626 B1 beschrieben. Der Nachteil dieser

Erfindung ist, da man das rückgeführte Gas auf der Druckseite des ersten Verdichters einbringen will, dass man dazu einen weiteren Verdichter benötigt. In der Folge ist der im Permeatstrom enthaltene Gasschlupf grösser als der, der mit dem Permeat ausgetragen wird.

[0010] Die hier vorliegende Erfindung umfasst daher eine Vorrichtung zur Trennung von Gasgemischen mit weniger Energieverbrauch. Damit kann man große Gasvolumenströme energetisch günstiger in einzelne Gasfraktionen trennen.

[0011] Die Trennverfahren, mechanisch, chemisch oder physikalisch weisen neben dem Energieeintrag zur Trennung von Gasgemischen in einzelne Gaskomponenten auch andere nachteilige Eigenschaften auf. Das mechanische Trennverfahren basiert auf der Erzeugung einer hohen Druckdifferenz, die die treibende Kraft der Trennung ist. Diese Druckdifferenz stellt in Verbindung mit einer Membran das mechanische Trennsystem dar. Die Druckdifferenz wird so erreicht, indem auf der Feedgasstromseite ein hoher Druck und auf der Permeatgasstromseite ein niedriger Druck gegeben ist. Zwischen dem Feedgasstrom und dem Permeatgasstrom befindet sind die Trennmembran.

[0012] Die Membranform und Membrantype charakterisiert die Trennmodule. Es sind heute folgende Membranformen bekannt, die Hohlfaser, die Wickelmembran, die Flachmembran. Bei der mechanischen Trennung von Gasgemischen spielt neben der Druckdifferenz auch noch die Fläche eine Rolle. Je höher die Druckdifferenz, desto geringer die notwendige Fläche zur Trennung der Gasgemische und umgekehrt.

$$F \sim A\,\Delta p$$

[0013] Ist das Volumen und der Druck der Gaskomponente bekannt, dann ist auch die Temperatur festgelegt.

[0014] Der Vorteil des mechanischen Trennverfahrens gegenüber dem chemischen und physikalischen Trennverfahren ist der Umstand, dass es zu keinen chemischen Veränderungen und oder zu keiner Verunreinigung in den Gaskomponenten kommt. Die Membran ist ein Festkörper mit einem so gewählten Werkstoff, der keine Reaktion mit den einzelnen Gaskomponenten des Gasgemisches eingeht. Unter chemischen Verfahren versteht man die Absorption an Flüssigkeiten, wie Aminen, und unter physikalischen Verfahren die Adsorption an Festkörpern, wie Kohlepellets im Druckwechseladsorptionsverfahren. Diese Verfahren werden hier nicht weiter behandelt.

[0015] Die Trennung über die Membran erfolgt unter Ausnutzung des Vorganges der Diffusion des Gases durch die Membran und des Vorganges der Strömung des Gases über die Membran. Obwohl die Membran gegenüber einer Flüssigkeit als dicht bezeichnet wird, ist die Membran gegenüber eines Gases nicht dicht. Durch die Poren und Porenkanäle im mikroskopisch kleinen Bereich, also im Bereich der Moleküldurchmesser und Atomdurchmesser, kann die eine oder andere Gaskomponente strömen und/oder diffundieren. Das mechanische Trennsystem ist jenes Verfahren auf das sich diese Erfindung bezieht.

[0016] Die chemische Trennung von Gasgemischen beruht auf der Eigenschaft, dass bestimmte Gase an Flüssigkeiten gebunden werden. Dieser Vorgang ist als Absorption bekannt und wird bei Gaswäschersystemen ausgenutzt. Es ist bekannt, dass die Flüssigkeit verdampfen kann und bis zur Sättigungsgrenze von dem Gasgemisch aufgenommen werden kann. Dieses Trennverfahren hat den Nachteil, dass es zu einer Verunreinigung des Gasgemisches kommt.

[0017] Die physikalische Trennung von Gasgemischen beruht auf der Eigenschaft, dass ein bestimmtes Gas an der Oberfläche von Festkörpern mit Druck und Temperatur gebunden werden kann. Dieser Vorgang ist als Druckwechseladsorption bekannt. Der Nachteil dieses Verfahrens ist der Festkörper, der zur Bindung eines Gases verwendet wird, selbst. Um eine große Menge an Gasmolekülen zu binden, ist eine große Oberfläche des Festkörpers notwendig. Die Festkörper sind porös, um so eine große Oberfläche aufweisen zu können. Die Porosität bedingt eine geringe mechanische Stabilität gegenüber Druckwechsel. Im Laufe der Zeit zerbrechen die Oberflächen der Festkörper und werden als Partikel in das Gasgemisch übertragen,

wodurch der Nachteil der Verunreinigung des Gasgemisches gegeben ist.

[0018] Die hier beschriebene Erfindung löst die Aufgabe und nutzt den Vorteil des mechanischen Trennverfahrens, weil es zu keiner Verunreinigung der Gasströme führt. Unter Verunreinigung versteht man die Beladung des Produktgases mit Stoffen in Form eines Dampfes oder Partikeln, die aus dem chemischen Verfahren oder aus dem physikalischen Verfahren und deren Anwendung entstehen. Aus energetischer Sicht ergibt sich ein weiterer Nachteil der chemischen und physikalischen Trennverfahren, da in der Folge aufwendige technische Reinigungsverfahren notwendig sind, um eine entsprechende Gasqualität und Gasreinheit zu erreichen.

[0019] Das im Patent WO2012/00727 A1 beschriebene Verfahren umfasst ebenfalls das mechanische Trennverfahren, das mit Hohlfasermodulen oder Flachmodulen durchgeführt wird. Der Nachteil dieses im Patent beschriebenen Verfahrens ist der hohe energetische Aufwand in Form der Verdichtung des Feedgasstromes, also jenes Gasvolumenstromes, der dem Trennmodul zugeführt wird. Zwar ist der in dem Patent WO2012/00727 A1 beschriebene Werkstoff der Membranmodule für höhere Temperaturen beständiger und daher strukturstabiler, bedingt aber in der Folge einen höheren Druck für die Gastrennung. Die in dem Patent WO2012/00727 A1 angeführten Werkstoffe führen in der praktischen Umsetzung zu einem Druck auf der Feedgasstromseite von 16 bar bis 20 bar, will man ein gutes Trennverhalten mit einer sinnvollen Oberfläche erhalten.

[0020] In Fig. 1 ist dieses Verfahren dargestellt. Durch die Rückführung des Permeatstromes (5) auf die Saugseite des Verdichters (1) wird der Anteil des Gasvolumenstromes, der zu verdichten ist, um zumindest ~ 50% höher. Das bedingt in der Folge eine weitere Erhöhung des Energieaufwandes für die Verdichtung (1).

[0021] Weiters kann man aus dem Verfahren in Fig. 1 erkennen, dass der Permeatstrom (6) einen hohen Anteil des Produktgases beinhaltet. Dieser liegt in einer Größenordnung von ~ 10 Vol.-% und höher. Die Verwendung der Trennmodule (2, 3) in Fig. 1 beschreiben ein zweistufiges Verfahren, wobei das Produktgas (4) in der Konzentration angereichert wird. Der hohe Anteil des Produktgases im Permeatgasstrom (6), auch als Schlupf bezeichnet, ist ein Nachteil, weil er einen weiteren energetischen Verlust darstellt. Zudem ist die Ausbeute des Produktgases (4) durch diesen Schlupf vermindert.

[0022] Der Energieverbrauch bei der Anwendung des mechanischen Trennverfahrens ist ein wesentlicher Parameter, der über die technische und wirtschaftliche Eignung dieses Verfahrens in prozesstechnischen Anwendungen entscheiden lässt. Unter dem Energieverbrauch versteht man die Summe der elektrischen Energie (kW), die für die Verdichtung und Rückkühlung des verdichteten Gasstromes aufgewendet werden muss. Die aufzuwendende Energie (kW) wird auf den Biogasstrom (Nm^3/h) bezogen. Das ergibt daher eine Bezugsgröße der Dimension $kW/(Nm^3/h)$.

$$e = \frac{P_{ele}(kW)}{V_{GM}(Nm^3/h)} \qquad P_{ele}=P_V+P_K-P_R \qquad P_V=(V_{GM}+V_{REZ})\rho\Delta h$$

[0023] Die elektrische Leistung setzt sich zusammen aus der elektrischen Leistung für die Verdichter P_v, die elektrische Leistung für die Kühlanlage P_k vermindert um die elektrische Leistung aus der Rückgewinnung P_r aus den Energierückgewinnungsmaschinen. V_{GM} bezeichnet den auf der Saugseite des Verdichters zugeführten Gasgemischvolumenstrom, ohne die auf der Saugseite des Verdichters aus der Gastrennung von den Trennmodulen zurückgeführten Gasströme V_{rez}. Aus der obigen einfachen Formel für die Verdichtungsleistung ersieht man, dass der zurückgeführte Gasvolumenstrom V_{rez} einen erheblichen Einfluss auf die elektrische Leistung hat. Zudem erkennt man aus der obigen einfachen Formel, dass die Enthalpie h eine Funktion von Druck und Temperatur ist.

[0024] Die heute üblichen Verfahren liegen bei einem Wert von e = 0,35 $kW/(Nm^3/h)$. Auch das im Patent WO2012/00727 A1 beschriebene Verfahren weist diese Größenordnung an spezifi-

schem Energieverbrauch auf.

[0025] Die Erfindung löst die Aufgabe eines geringeren Energieaufwandes bei sehr geringem Schlupf in der Größenordnung 0,2 Vol.-% an Produktgas in dem Offgasstrom (12), indem die Trennmodule (8) und (9) verwendet werden. Der geringere Energieverbrauch ergibt sich aus den reduzierten Rententatgasströmen aus den Trennmodulen (8) und (9). Es ist dabei zu beachten, dass der Permeatgasstrom aus der ersten Trennstufe (2) in der dritten Trennstufe (8) zu einem Rententatsgasstrom wird.

[0026] In diesen auf die Saugseite des Verdichters (1) zurückgeführten Rententatgasströmen aus der dritten Trennstufe (8) und der vierten Trennstufe (9) ist eine sehr hohe Konzentration des gesuchten Produktgases (4) enthalten. Das ist gleichbedeutend mit einer hohen Abscheidung des unerwünschten Offgases (12) aus dem Gasgemisch.

[0027] Ein weiterer Vorteil, der dieser Erfindung zu Grunde liegt, ist nicht nur der geringere zurückgeführte Gasvolumenstrom auf der Saugseite des Verdichters (1), sondern auch die damit verbundene höhere Konzentration des Produktgases auf der Feedgasstromseite vor dem Trennmodul (2). Damit ergibt sich eine kleinere Trennfläche und eine kleinere Druckdifferenz, um das gleiche Trennverhalten des Trennmodules (2) zu erhalten, wie dies in der Verschaltung in Fig. 1 dargestellt ist.

[0028] Mit den dieser Erfindung zugrunde liegenden Verschaltungen der Trennmodule und der in Fig. 4 dargestellten Verschaltung kann man einen spezifischen Energieverbrauch von e = 0,25 kW/(Nm^3/h) erreichen und realisieren.

[0029] Ein weiterer Vorteil der Erfindung liegt in der Verwendung der Trennmodule (8,9) wodurch sehr geringer Schlupf an Produktgas in dem Permeatstrom (12) erzeugt werden kann. Der geringe Schlupf bedeutet sehr geringe Verluste an Produktgasen. Mit dieser Erfindung kann eine sehr hohe Ausbeute an Produktgas erreicht werden und ein Schlupf von bis zu 0,2 Vol.-% an Produktgas im Offgas (12) erreicht werden.

[0030] Die Erfindung löst die Aufgabe des geringen Energieaufwandes mit dem Einsatz einer Energierückgewinnungsmaschine (7) auf dem Produktgasstrom (4) nach dem Trennmodul (3). Hier wird das unterschiedliche Druckniveau aus dem mechanischen Trennverfahren und dem Einspeisedruck in das Gasnetz ausgenützt.

[0031] Die Erfindung löst die Aufgabe des geringeren Energieaufwandes bei der Anwendung des mechanischen Trennverfahrens, indem statt der Drosselregelventile (10,11) Energierückgewinnungsmaschinen (15, 16) verwendet werden. In Kombination mit der Energierückgewinnung aus dem Produktgas (4) über die Energierückgewinnungsmaschine (7) kann man einen spezifischen Energieverbrauch von e = 0,15 kW/(Nm^3/h) erreichen. Derartige erfindungsgemäße Verschaltungen sind in den Fig. 6 und 7 dargestellt.

[0032] Die Erfindung löst auch die Aufgabe des geringeren Schlupfes an Produktgas im Offgas (12). Das mechanische Trennverfahren basiert auf der Ausnützung der Strömung eines Gases durch Mikroporen und Mikrokanäle, sowie die Diffusion durch die Membrane. Je nach Membranqualität und Membrantype überwiegt entweder die Trennung mittels Strömung oder die Gastrennung mit Diffusion. Die Mikroporen nutzen die Eigenschaft der unterschiedlichen Moleküldurchmesser aus, wobei zudem durch die Temperatur auch die Schwingungsaktivität des Moleküls beeinflusst wird. Je nach Gastype ergeben sich unterschiedliche Moleküldurchmesser und unterschiedliche Schwingungsaktivitäten. Das bedeutet, dass es je nach Membranwerkstoff einen optimalen Druck und Temperatur gibt bei der das Trennverhalten in Bezug auf eine Gastype sein Optimum erreicht. Trotzdem gibt es immer einen Schlupf. Der Schlupf bedeutet, dass auch eine unerwünschte Gastype aus dem Produktgas mitabgetrennt wird. In der technischen Anwendung kann heute ein Schlupf von 0,2 Vol.-% des Produktgases im Offgas erreicht werden.

[0033] Neben der Strömung tritt aber auch die Diffusion auf. Unter Diffusion eines Gases durch die Membran versteht man, dass sich das Molekül zwischen den langkettigen Polymermolekü-

len der Membran hindurchbewegt. Das bedeutet die Notwendigkeit eines höheren Druckes und einer höheren Temperatur. Mit der Diffusion verbunden ist auch immer die Löslichkeit eines Gases in der Membran. Diffusion, Löslichkeit und Strömung des Gases durch die Membran nennt man auch die Selektivität. Eine hohe Selektivität in Bezug auf eine Gastype ermöglicht es, diese Gastype aus dem Gasgemisch mit einem geringen Energieaufwand mit dem mechanischen Trennverfahren über Membranmodule abzutrennen.

[0034] Die hier zugrundeliegende Erfindung weist eine hohe Anwendungsvielfalt auf. Geringer Schlupf an Produktgas im Offgas, ein geringer Energieaufwand in der Trennung von Gasgemischen, eine hohe Ausbeute an Produktgasen ist für die Anwendungen in der Umwelttechnologie, in der Anwendung bei Kraftwerken und in der Anwendung der Prozesstechnologie bei Gewerbe und Industrie von entscheidender Bedeutung.

[0035] In der Umwelttechnologie in der Aufkonzentration von Biogasen ist die erfindungsgemäße Abtrennung von CO_2 (Kohlendioxid) aus dem Gasgemisch CH_4 (Methan) und CO_2 (Kohlendioxid) anwendbar. Mit dem erfindungsgemäßen geringen Energieaufwand für die Trennung des Gasgemisches Biogas zu Methan hoher Konzentration auf Erdgasqualität und zu Kohlendioxid hoher Konzentration mit geringem Schlupf wird das Verfahren sehr attraktiv. Die Abtrennung von Kohlendioxid ermöglicht es, das Offgas als ein nutzbares Gas weiter zu verwerten, da der Schlupf an Methan sehr gering ist.

[0036] In der Kraftwerkstechnik ist die Abtrennung von Kohlendioxid aus dem Abgas von Interesse. Mit dieser Erfindung kann man Kohlendioxid von hoher technischer Reinheit (99%) abtrennen und für weitere Prozesse als nutzbares Gas verwenden. Der Vorteil der Anwendung dieser Erfindung liegt in dem geringen energetischen Aufwand und in der hohen Produktgasausbeute.

[0037] Bei Gewerbe und Industrie finden naturgemäß Verbrennungsprozesse statt. Daher ist die Abtrennung von Kohlendioxid aus dem Abgas von Interesse. Mit dieser Erfindung kann man Kohlendioxid von hoher technischer Reinheit (99%) abtrennen und für weitere Prozesse als nutzbares Gas verwenden. Der Vorteil der Anwendung dieser Erfindung liegt in dem geringen energetischen Aufwand und in der hohen Produktgasausbeute.

[0038] Eine weitere Anwendung ist die Reinigung eines aus der Biomassevergasung gewonnenen Synthesegases bestehend aus Kohlenmonoxid (CO), Wasserstoff (H_2) und Kohlendioxid (CO_2) und die Reduktion auf eine Volumenkonzentration des Kohlendioxids auf kleiner als 1 Vol.-% im Produktgas bei einer Ausgangskonzentration im Feedgas von 15 Vol.-% bis 40 Vol.-%. Das so gewonnene Syngas kann nun in der Herstellung von Dimethylether (DME) verwertet werden.

AUFLISTUNG DER BEZEICHNUNGEN

1	Verdichter 1
2	Trennmodul 1
3	Trennmodul 2
4	angereichertes Gas, Rententat, Produktgas
5	Permeat des Trennmodules 2, Offgas mit Schlupf
6	Permeat des Trennmodules 1, Offgas mit Schlupf
7	Energierückgewinnungsmaschine
8	Trennmodul 3
9	Trennmodul 4
10	Drossel-Regelung 3
11	Drossel-Regelung 4

12 Permeatleitung des Trennmodules 4, Offgas mit Schlupf

13 Permeatleitung des Trennmodules 3, Offgas mit Schlupf

14 Vakuumgebläse 1

15 Energierückgewinnungsmaschine

16 Energierückgewinnungsmaschine

AUFLISTUNG DER SYMBOLE

F Kraft (N)

A Fläche (m^2)

Δp Druckdifferenz (N/m^2)

Δh Enthalpiedifferenz (kJ/kg)

ρ Dichte (kg/m^3)

V_{GM} Volumenstrom (Nm^3/h)

V_{rez} Volumenstrom (Nm^3/h)

P_{ele} elektrische Leistung (kW)

P_V elektrische Leistung des Verdichters (kW)

P_K elektrische Leistung der Rückkühlung (kW)

P_R elektrische Leistung der Energierückgewinnungsmaschinen (kW)

AUFLISTUNG DER FIGUREN:

[0039] Fig. 1: Zweistufiges Verfahren mit Trennmodulen und der Gasrückführung auf die Saugseite des Verdichters.

[0040] Fig. 2: Darstellung des Druckverlaufes in der Gasanreicherung auf der Rententatseite in den zwei Trennmodulen.

[0041] Fig. 3: Zweistufiges Verfahren mit Trennmodulen und der Energierückgewinnung auf der Produktgasseite.

[0042] Fig. 4: Vierstufiges Verfahren mit Trennmodulen und der Rückführung der angereicherten Produktgasströme.

[0043] Fig. 5: Vierstufiges Verfahren mit Trennmodulen und der Rückführung der angereicherten Produktgasströme und Verwendung eines Vakuumgebläses in dem vierten Trennmodul auf der Permeatseite.

[0044] Fig. 6: Vierstufiges Verfahren mit Trennmodulen und der Verwendung von Energierückgewinnungsmaschinen zur mechanischen und elektrischen Energierückgewinnung.

BESCHREIBUNG DER ABBILDUNGEN:

[0045] Fig. 1: Die in Fig. 1 dargestellte Verschaltung wurde verwendet. Die Verschaltung besteht aus einem Verdichter (1), dessen verdichteter Gasstrom als Feedgasstrom in den Trennmodul (2) geleitet wird. Aus dem Trennmodul (2) wird der Permeatstrom (6) abgeleitet. Der Rententatgasstrom aus dem Trennmodul (2) wird in den Trennmodul (3) geleitet. Aus dem Trennmodul (3) wird der Rententatgasstrom, der auch als Produktstrom (4) bezeichnet wird, abgeleitet. Der Permeatstrom (5) aus dem Trennmodul (3) wird auf die Saugseite des Verdichters (1) zurückgeführt.

[0046] Fig. 2: Die in Fig. 2 dargestellte Verschaltung wurde verwendet. In der Abbildung ist der

Druckverlauf dargestellt. Über den Verdichter wird das Gasgemisch auf den Druck des Feedgasstromes vor dem Trennmodul (2) verdichtet, danach erfolgt der Druckverlust durch die Strömung des Produktgases (4) durch den Trennmodul (2) und (3). Dieser Druck ist höher als der Gasnetzdruck, auch als Einspeisedruck bezeichnet.

[0047] Fig. 3: Die in Fig. 3 dargestellte Verschaltung wurde verwendet. Die Verschaltung besteht aus einem Verdichter (1), dessen verdichteter Gasstrom als Feedgasstrom in den Trennmodul (2) geleitet wird. Aus dem Trennmodul (2) wird der Permeatgasstrom (6) abgeleitet. Der Rententatgasstrom wird in den Trennmodul (3) geleitet. Aus dem Trennmodul (3) wird der Rententatgasstrom, der auch als Produktgasstrom (4) bezeichnet wird, abgeleitet. Der Permeatgasstrom (5) aus dem Trennmodul (3) wird auf die Saugseite des Verdichters (1) zurückgeführt. Die in dem Produktgasstrom (4) enthaltene Druck-Energie wird über die Rückgewinnungsmaschine (7) als Energierückgewinnungsmaschine in elektrische Energie umgewandelt.

[0048] Fig. 4: Die in Fig. 4 dargestellte Verschaltung wurde verwendet. Die Verschaltung besteht aus einem Verdichter (1), dessen verdichteter Gasstrom als Feedgasstrom in den Trennmodul (2) geleitet wird. Aus dem Trennmodul (2) wird der Permeatgasstrom (6) in den Trennmodul (8) abgeleitet. Der Rententatgasstrom aus dem Trennmodul (2) wird in den Trennmodul (3) geleitet. Aus dem Trennmodul (3) wird der Rententatgasstrom, der auch als Produktgasstrom (4) bezeichnet wird, gewonnen. Der Permeatgasstrom (5) aus dem Trennmodul (3) wird auf die Saugseite des Verdichters (1) zurückgeführt. Der aus dem Trennmodul (8) gewonnene Produktgasstrom wird als Rententatgasstrom über den Drosselregler (10) auf den Saugdruck des Verdichters (1) entspannt und der Saugseite des Verdichters (1) eingespeist. Der aus dem Trennmodul (8) abgeleitete Permeatgasstrom (13) wird dem Trennmodul (9) zugeführt. Der aus dem Trennmodul (9) gewonnene Rententatgasstrom wird über den Drosselregler (11) auf den Saugdruck des Verdichters (1) entspannt und in dem Gasstrom auf der Saugseite des Verdichters (1) eingespeist. Der Permeatgasstrom (12) aus dem Trennmodul (9) wird als Offgas (12) abgeleitet.

[0049] Fig. 5: Die in Fig. 5 dargestellte Verschaltung wurde verwendet. Die Verschaltung besteht aus einem Verdichter (1), dessen verdichteter Gasstrom als Feedgasstrom in den Trennmodul (2) geleitet wird. Aus dem Trennmodul (2) wird der Permeatgasstrom (6) in den Trennmodul (8) abgeleitet. Der Rententatgasstrom aus dem Trennmodul (2) wird in den Trennmodul (3) geleitet. Aus dem Trennmodul (3) wird der Rententatgasstrom, der auch als Produktgasstrom (4) bezeichnet wird, gewonnen. Der Permeatgasstrom (5) aus dem Trennmodul (3) wird auf die Saugseite des Verdichters (1) zurückgeführt. Der aus dem Trennmodul (8) gewonnene Produktgasstrom wird als Rententatgasstrom über den Drosselregler (10) auf den Saugdruck des Verdichters (1) entspannt und auf der Saugseite des Verdichters (1) eingespeist. Der aus dem Trennmodul (8) abgeleitete Permeatgasstrom (13) wird dem Trennmodul (9) zugeführt. Der aus dem Trennmodul (9) gewonnene Rententatgasstrom wird über den Drosselregler (11) auf den Saugdruck des Verdichters (1) entspannt und so zurückgeführt. Der Permeatgasstrom (12) aus dem Trennmodul (9) wird als Offgas (12) abgeleitet. Um die Trennwirkung zu verbessern wird der Permeatgasstrom (12) durch ein Vakuumgebläse (14) angesaugt und weitergeleitet.

[0050] Fig. 6: Die in Fig. 6 dargestellte Verschaltung wurde verwendet. Die Verschaltung besteht aus einem Verdichter (1), dessen verdichteter Gasstrom als Feedgasstrom in den Trennmodul (2) geleitet wird. Aus dem Trennmodul (2) wird der Permeatgasstrom (6) in den Trennmodul (8) abgeleitet. Der Rententatgasstrom aus dem Trennmodul (2) wird in den Trennmodul (3) geleitet. Aus dem Trennmodul (3) wird der Rententatgasstrom, der auch als Produktstrom (4) bezeichnet wird, gewonnen. Die in dem Produktgasstrom (4) enthaltene Energie wird über eine Energierückgewinnungsmaschine (7) als mechanische und elektrische Energie zurückgewonnen. Der Permeatgasstrom (5) aus dem Trennmodul(3) wird auf die Saugseite des Verdichters (1) zurückgeführt. Der aus dem Trennmodul (8) gewonnene Produktgasstrom wird als Rententat über eine Rückgewinnungsmaschine (15) in Form einer Entspannungsmaschine als mechanische und elektrische Energie auf den Saugdruck des Verdichters (1) entspannt und der Saugseite des Verdichters (1) eingespeist. Der aus dem Trennmodul (8) abgeleitete Permeat-

gasstrom (13) wird dem Trennmodul (9) zugeführt. Der aus dem Trennmodul (9) gewonnene Rententatgasstrom wird über eine Rückgewinnungsmaschine (16) in Form einer Energierückgewinnungsmaschine als mechanische und elektrische Energie auf den Saugdruck des Verdichters (1) entspannt und so eingespeist. Der Permeatgasstrom (12) aus dem Trennmodul (9) wird als Offgas (12) abgeleitet. Um die Trennwirkung zu verbessern wird der Permeatgasstrom (12) durch ein Vakuumgebläse (14) angesaugt und weitergeleitet.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Trennung, Aufreinigung und Aufkonzentration von Gasgemischen, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie jeweils eine Trennmembran enthaltende Trennmodule (2, 3, 8, 9), zumindest einen Verdichter (1), und zwei Drosselregelventile (10, 11) umfasst, wobei ein Verdichter (1) mit einer Druckseite eines Trennmoduls (2) verbunden ist, eine einen Rententatgasstrom liefernde Seite des Trennmoduls (2) mit einer Druckseite eines weiteren Trennmoduls (3) verbunden ist, sowie eine ein Permeatgas liefernde Seite des Trennmoduls (2) mit einer Aufgabeseite eines dritten Trennmoduls (8) verbunden ist, dass die Rententatgas liefernde Seite des dritten Trennmoduls (8) mit dem Drosselventil (10) verbunden ist, sowie die Permeatgas liefernde Seite des dritten Trennmoduls (8) mit der Druckseite des vierten Trennmoduls (9) verbunden ist, die Rententatgas liefernde Seite des vierten Trennmoduls (9) mit einem weiteren Drosselventil (11) verbunden ist und dass die jeweiligen Austrittsseiten der Drosselventile (10, 11) mit einer Saugseite des Verdichters (1) verbunden sind.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Permeatgas liefernde Seite des Trennmoduls (2) mit der Druckseite des dritten Trennmoduls (8) verbunden ist und die Rententatgas liefernde Seite des dritten Trennmoduls (8) mit einer das unterschiedliche Druckniveau aus dem mechanischen Trennverfahren und dem Einspeisedruck in das Gasnetz ausnützenden Energierückgewinnungsmaschine (7) verbunden ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Permeatgas liefernde Seite des dritten Trennmoduls (8) mit der Druckseite des vierten Trennmoduls (9) mit einer das Druckniveau aus dem mechanischen Trennverfahren und dem Einspeisedruck in das Gasnetz ausnützenden Energierückgewinnungsmaschine (7) verbunden ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Permeatgas liefernde Seite des weiteren Trennmoduls (3) mit einer das unterschiedliche Druckniveau aus dem mechanischen Trennverfahren und dem Einspeisedruck in das Gasnetz ausnützende Energierückgewinnungsmaschine (7) verbunden ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf der Permeatseite (12) des vierten Trennmoduls (9) ein Vakuumgehäuse (14) angeordnet ist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Produktgaskonzentration nach dem Verdichter (1) als Feedgasstrom zumindest 60 % beträgt.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Offgaskonzentration (12) zumindest bevorzugt 98,5 % und besonders bevorzugt 99,8 % und bevorzugt 98,5 % bis 99,8 % beträgt und der Schlupf des Produktgases bevorzugt 1,5 Vol.-% und besonders bevorzugt 0,2 Vol.-% und bevorzugt 1,5 Vol.-% bis 0,2 Vol.-% beträgt.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Produktgaskonzentration (4) zumindest etwa 95 % und besonders bevorzugt 99 % und bevorzugt 95 % bis 99 % beträgt.

9. Verfahren zum Trennen, Aufreinigen und Aufkonzentrieren von Gasgemischen, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein aus wenigstens zwei Gasen bestehender Feedgasstrom mittels wenigstens einem eine Trennmembran enthaltendes Trennmodul in einem Permeatgasstrom und einem Rententatgasstrom aufgetrennt wird, der Feedgasstrom von einem Verdichter (1) auf der Druckseite einem Trennmodul (2) zugeführt wird, der Rententatgasstrom aus dem Trennmodul (2) als Feedgasstrom einem weiteren Trennmodul (3) zugeführt wird, der Permeatgasstrom (6) aus dem Trennmodul (2) als Feedgasstrom einem dritten Trennmodul (8) zugeführt wird, der Rententatgasstrom aus dem dritten Trennmodul (8) einem Drosselregelventil (10) zugeführt wird, der Permeatgasstrom (13) aus dem dritten Trennmodul (8) als Feedgasstrom (13) einem vierten Trennmodul (9) zugeführt wird, der Rententatgasstrom aus dem vierten Trennmodul (9) einem weiteren Drosselregelventil (11) zugeführt wird, der Permeatgasstrom (12) aus dem vierten Trennmodul (9) als Offgas

gewonnen wird, wenigstens ein Rententatgasstrom mit einem Drosselregelventil (10, 11) auf den Saugdruck des Verdichters (1) entspannt wird und dem Sauggasstrom des Verdichters (1) zugeführt wird, und wenigstens ein Rententatgasstrom aus wenigstens einem Trennmodul (3) als Produktgas (4) gewonnen wird.

10. Verfahren als Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Permeatgasstrom (6) aus dem Trennmodul (2) dem dritten Trennmodul (8) als Feedgasstrom zugeführt wird und der Rententatgasstrom aus dem dritten Trennmodul (8) über eine das unterschiedliche Druckniveau aus dem mechanischen Trennverfahren und dem Einspeisedruck in das Gasnetz auszuübenden Energierückgewinnungsmaschine (15) zur Rückgewinnung von mechanischer und elektrischer Energie geführt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Permeatgasstrom (12) aus dem dritten Trennmodul (8) dem vierten Trennmodul (9) als Feedgasstrom zugeführt wird und der Rententatgasstrom aus dem vierten Trennmodul (9) über eine das unterschiedliche Druckniveau aus dem mechanischen Trennverfahren und dem Einspeisedruck in das Gasnetz auszuübenden Energierückgewinnungsmaschine (16) zur Rückgewinnung von mechanischer und elektrischer Energie geführt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Rententatgasstrom aus dem weiteren Trennmodul (3) als Produktgas über eine das unterschiedliche Druckniveau aus dem mechanischen Trennverfahren und dem Einspeisedruck in das Gasnetz auszuübenden Energierückgewinnungsmaschine (7) zur Rückgewinnung von mechanischer und elektrischer Energie geführt wird.

Hierzu 9 Blatt Zeichnungen

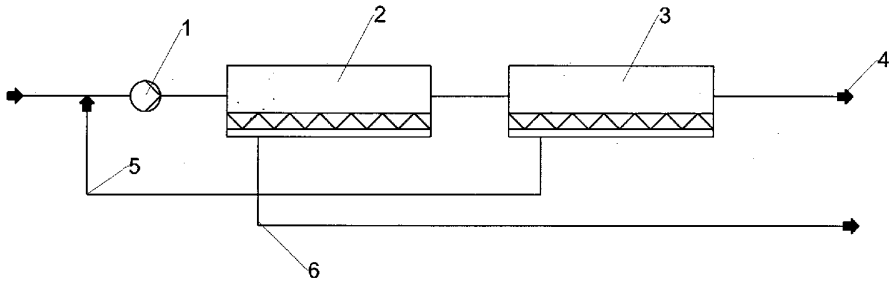


Bild 1

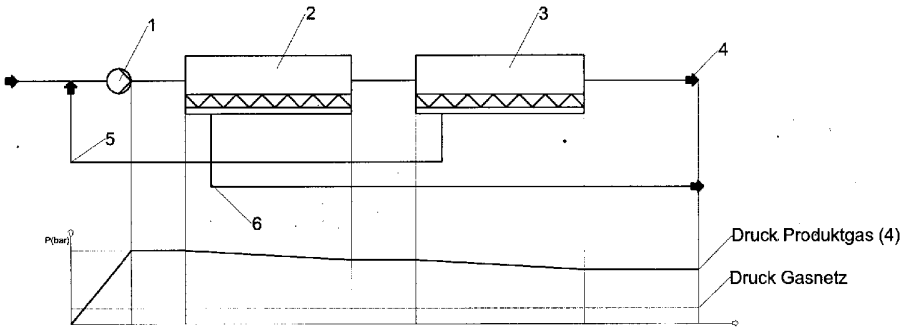


Bild 2

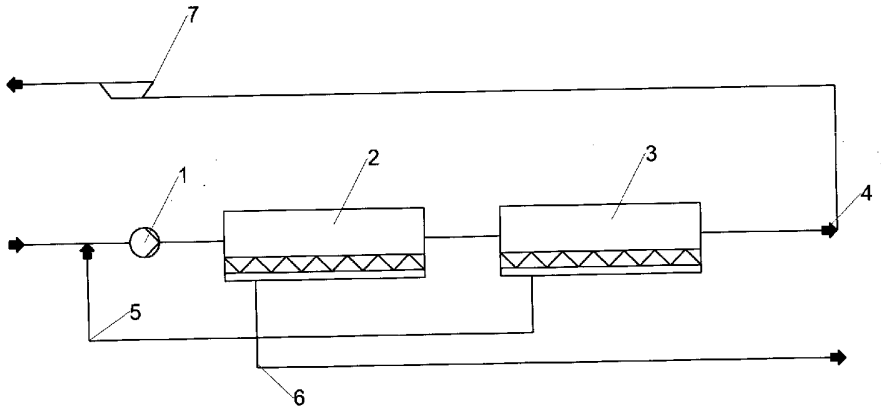


Bild 3

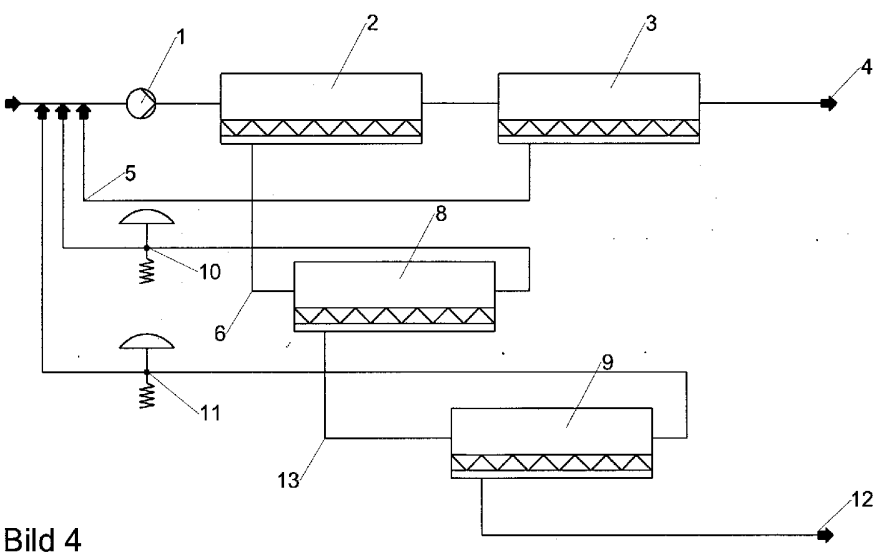


Bild 4

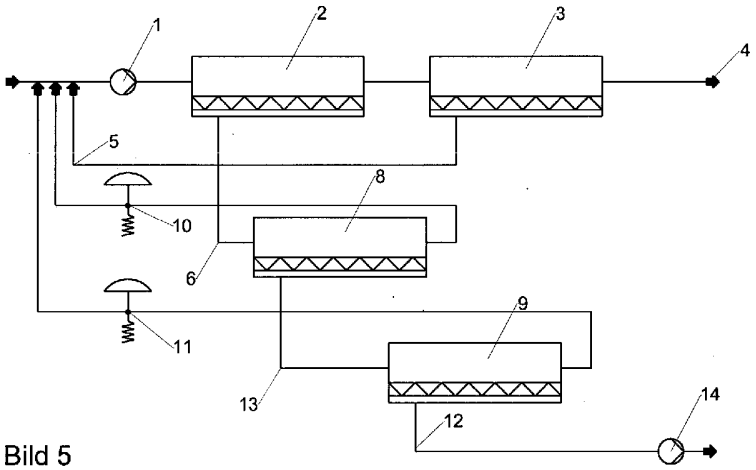


Bild 5

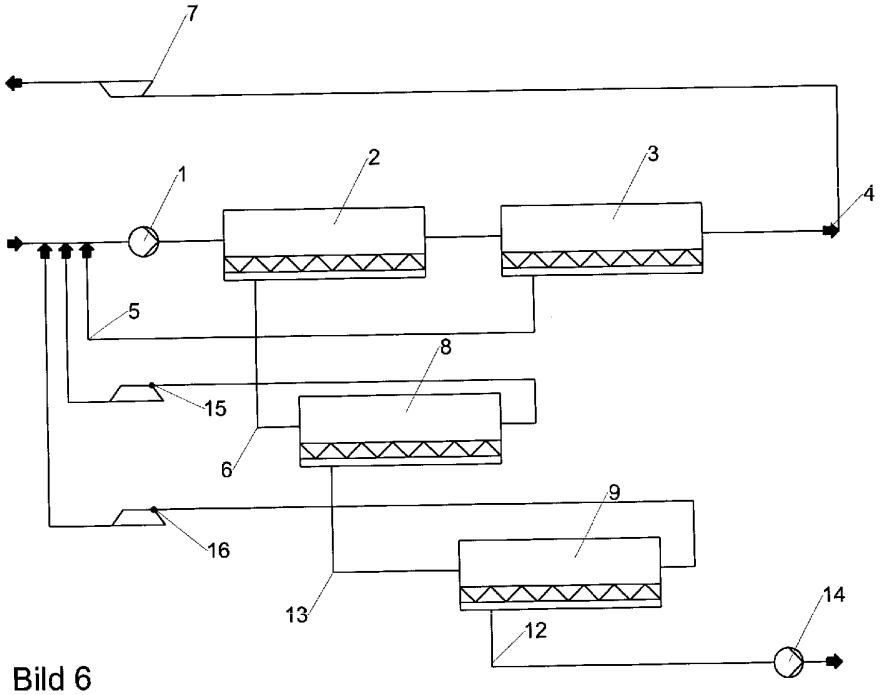


Bild 6

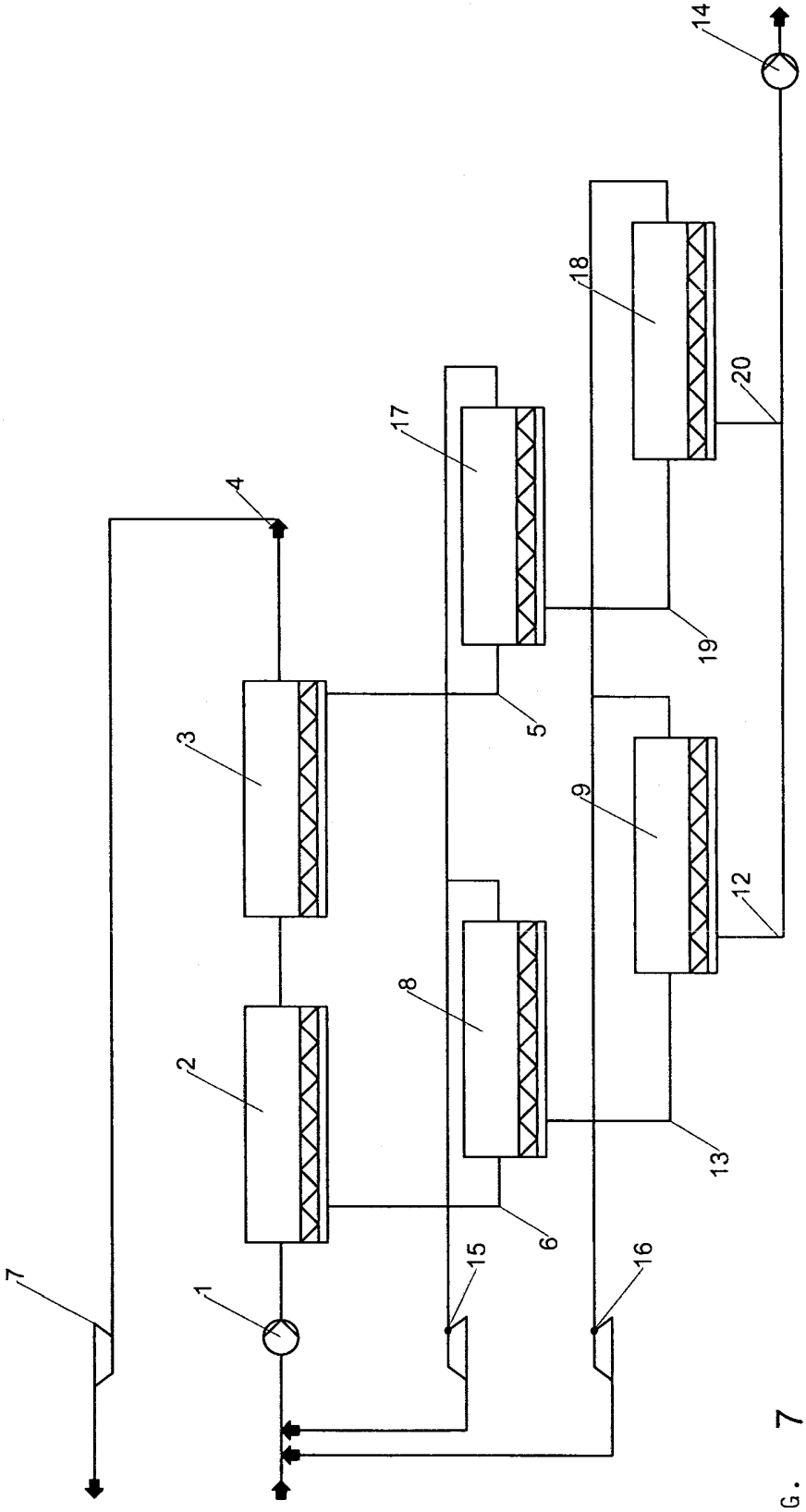


FIG. 7

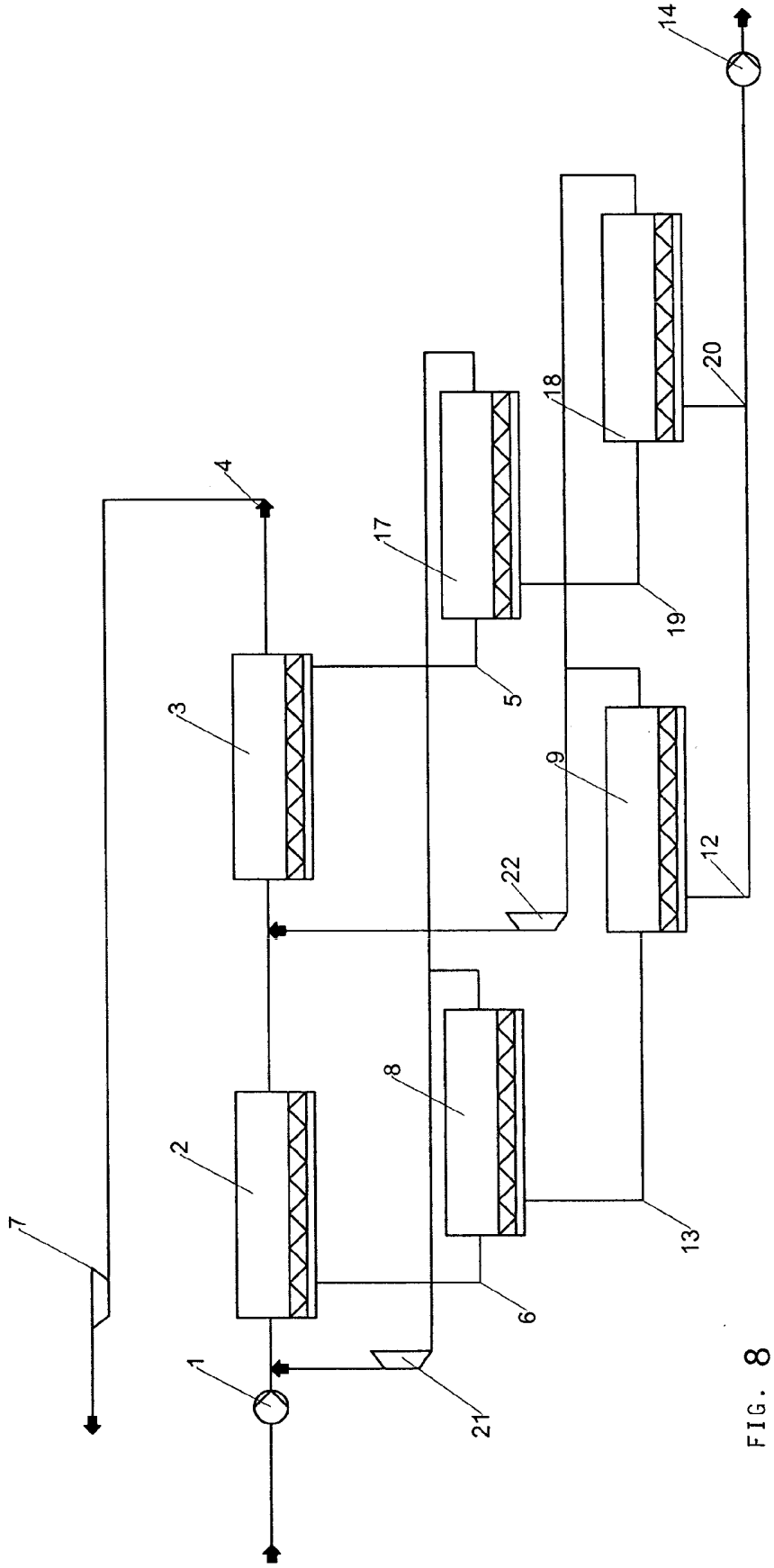


FIG. 8

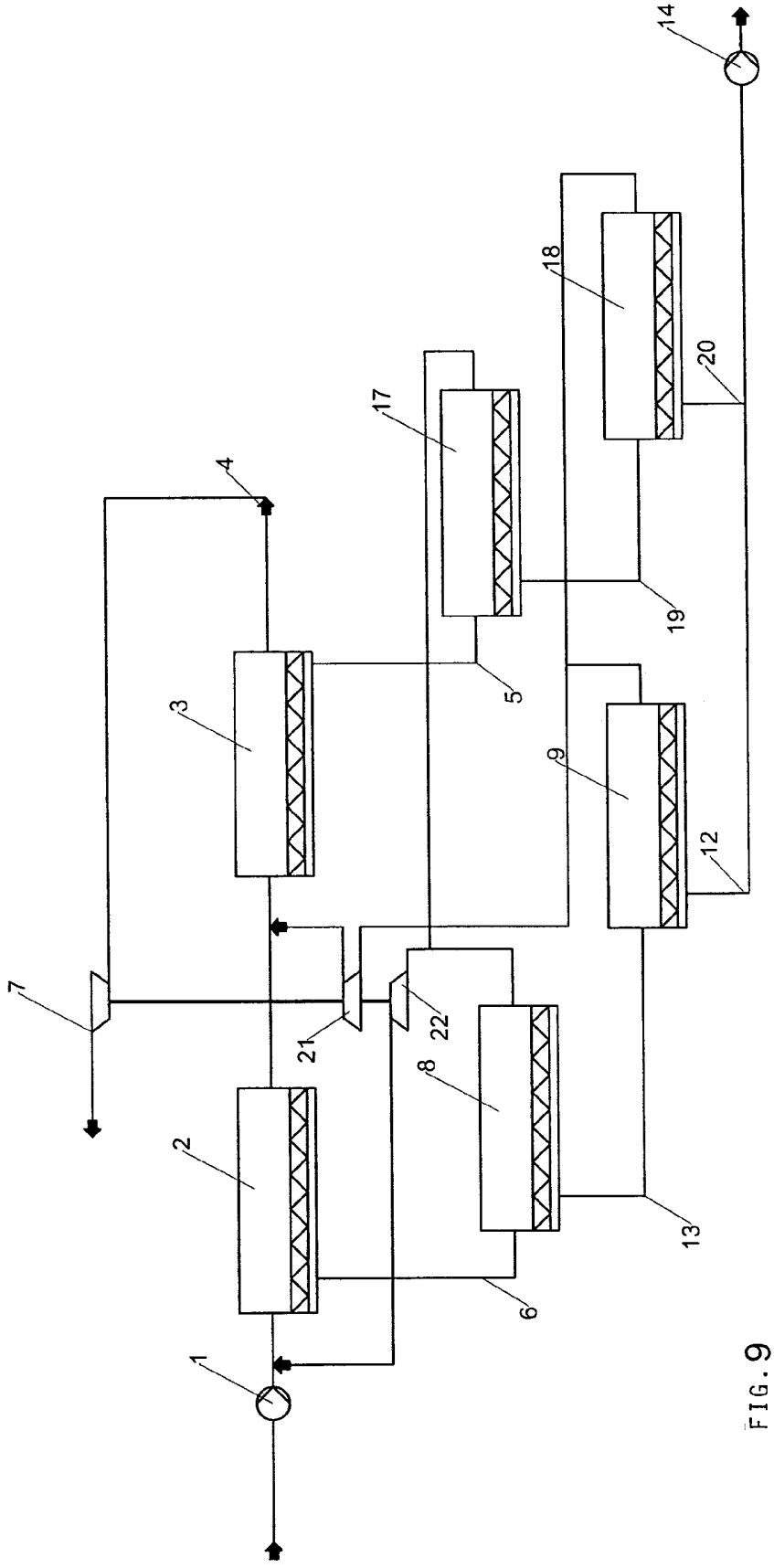


FIG. 9