



(12) **Übersetzung der geänderten europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 226 860 B2**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 23 374.3**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 30 0664.8**

(96) Europäischer Anmeldetag: **25.01.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **31.07.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **27.09.2006**

(97) Veröffentlichungstag

des geänderten Patents beim EPA: **14.03.2012**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **16.05.2012**

(51) Int Cl.: **B01D 53/04** (2006.01)

B01D 53/26 (2006.01)

Patentschrift wurde im Einspruchsverfahren geändert

(73) Patentinhaber:

**Air Products and Chemicals, Inc., Allentown, Pa.,
US**

(74) Vertreter:

Schwabe Sandmair Marx, 81677, München, DE

(84) Benannte Vertragsanstalten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(72) Erfinder:

**Kalbassi, Mohammad Ali, Wallon on Thames
Surrey KT12 2AQ, GB; Malik, Nasim Hassan,
Wimbledon London SW19 3SS, GB**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betrieb eines Temperaturwechsel-Adsorptionssystems und entsprechende Vorrichtung**

Beschreibung

[0001] Diese Erfindung betrifft ein Verfahren zur Behandlung eines Speisegases. Die Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren zum Entfernen oder zumindest zur Reduktion des Niveaus von Kohlendioxid und Wasser in einem Speisegas, damit es für eine nachfolgende Verarbeitung geeignet ist. Die Erfindung ist besonders nützlich bei der Entfernung von Kohlendioxid und Wasser aus Luft, die in einem Verfahren zur kryogenen Zerlegung oder zur Reinigung von Luft als ein Speisegas verwendet werden soll.

[0002] Kohlendioxid ist ein verhältnismäßig hochsiedendes gasförmiges Material und die Entfernung dieses und anderer hochsiedender Materialien, z. B. Wasser, das in einem Speisegas vorhanden sein kann, ist dann erforderlich, wenn die Mischung nachfolgend in einem Niedertemperaturverfahren, z. B. einem kryogenen Verfahren behandelt werden soll. Wenn verhältnismäßig hochsiedende Materialien nicht entfernt werden, können sie sich in der nachfolgenden Verarbeitung verflüssigen oder verfestigen und zu Druckabfällen und Strömungsproblemen in dem nachfolgenden Verfahren führen. Es kann außerdem erforderlich oder erwünscht sein, gefährliche, z. B. explosive Materialien vor einer Weiterverarbeitung des Speisegases zu entfernen, um dadurch die Gefahr einer Anreicherung in dem nachfolgenden Verfahren zu verringern, was eine Explosionsgefahr darstellt. Kohlenwasserstoffgase, z. B. Acetylen, können eine derartige Gefahr darstellen.

[0003] Es sind verschiedene Verfahren bekannt zum Entfernen von Kohlendioxid und Wasser aus einem Speisegas durch Adsorption auf einem festen Adsorptionsmittel, die Temperaturwechseladsorption (TSA) und Druckwechseladsorption (PSA), thermische Druckwechseladsorption (TPSA) und thermisch verbesserte Druckwechseladsorption (TEPSA) enthalten.

[0004] Bei diesen Verfahren werden im Allgemeinen Wasser und Kohlendioxid aus einem Speisegas entfernt, indem die Mischung mit einem oder mehreren Adsorptionsmitteln, die Wasser und Kohlendioxid adsorbieren, in Kontakt gebracht wird. Das wasseradsorbierende Material kann z. B. Silika-Gel, Aluminiumoxid oder ein Molekularsieb sein und das kohlendioxidadsorbierende Material kann typischerweise ein Molekularsieb, z. B. ein Zeolit sein. Herkömmlich wird zuerst Wasser und anschließend Kohlendioxid entfernt, indem das Speisegas in einer Säule durch eine einzelne Adsorptionsmittelschicht oder getrennte Schichten eines Adsorptionsmittels, das vorzugsweise für die Adsorption von Wasser und Kohlendioxid ausgewählt ist, geführt wird. Das Absenken von Kohlendioxid und anderen hochsiedenden Komponenten auf ein sehr niedriges Niveau ist für den effizienten Betrieb von nachfolgenden Verfahren besonders erwünscht.

[0005] Nach der Adsorption wird die Strömung des Speisegases von dem Adsorptionsmittelbett unterbrochen und das Adsorptionsmittel wird einer Strömung von Regenerationsgas ausgesetzt, das die adsorbierten Materialien, z. B. Kohlendioxid und Wasser von dem Adsorptionsmittel ablöst und es auf diese Weise für eine weitere Verwendung regeneriert.

[0006] Bei einem TSA-Verfahren für die Entfernung von Kohlendioxid und Wasser wird atmosphärische Luft typischerweise unter Verwendung eines Hauptluftkompressors (MAC) komprimiert, woraufhin eine Wasserkühlung und das Entfernen des auf diese Weise kondensierten Wassers in einer Trenneinrichtung folgt. Die Luft kann z. B. unter Verwendung von gekühltem Ethylenglykol weiter gekühlt werden. Der Hauptanteil des Wassers wird in diesem Schritt durch Kondensation und Trennung des Kondensats entfernt. Das Gas wird dann zu einem Molekularsiebbett oder einem gemischtem System aus Aluminiumoxid-Molekularsiebbett geführt, wo das restliche Wasser und Kohlendioxid durch Adsorption entfernt werden. Durch die Verwendung von zwei Adsorptionsmittelbetten in einer parallelen Anordnung kann ein Bett zur Adsorption betrieben werden, während das andere Bett regeneriert wird, wobei ihre Rollen in dem Betriebszyklus periodisch umgekehrt werden. In diesem Fall werden die Adsorptionsmittelbetten in einem Wärmewechselmodus betrieben, wobei gleiche Perioden der Adsorption und der Regeneration gewidmet sind.

[0007] Wenn die Komponente, die aus dem Speisegas entfernt wird, adsorbiert wird, während das Bett eingeschaltet ist, erzeugt der Adsorptionsvorgang Adsorptionswärme, die bewirkt, dass ein Wärmeimpuls durch das Adsorptionsmittel stromabwärts fortschreitet. Es wird zugelassen, dass sich der Wärmeimpuls aus dem stromabwärtigen Ende des Adsorptionsmittelbettes während der Zufuhrperiode oder eingeschalteten Periode bewegt. Während des Regenerationsvorgangs muss Wärme zugeführt werden, um die Gaskomponente, die auf dem Bett adsorbiert wurde, zu desorbieren. In dem Regenerationsschritt wird ein Teil des Produktgases, z. B. Stickstoff oder ein Abgasstrom von einem nachfolgenden Vorgang verwendet, um die adsorbierten Komponenten zu desorbieren und kann außerdem komprimiert werden, damit er erwärmt wird. Das heiße Gas wird durch das Bett, das regeneriert wird, geführt, um auf diese Weise das adsorbierte Kohlendioxid und/oder

Wasser zu entfernen. Eine Regeneration wird herkömmlich in einer Richtung ausgeführt, die der Richtung des Adsorptionsschritts entgegengesetzt ist.

[0008] In einem PSA-System sind Zykluszeiten gewöhnlich kürzer als in einem TSA-System, Zufuhrtemperatur und Druck und das Regenerationsgas sind jedoch häufig ähnlich. In PSA-Systemen ist der Druck des Regenerationsgases jedoch niedriger als der des Speisegases und die Druckänderung wird verwendet, um das Kohlendioxid und das Wasser von dem Adsorptionsmittel zu entfernen. Die Regeneration wird vorteilhaft begonnen, bevor der oben in Bezug auf TSA erwähnte Wärmeimpuls das stromabwärtige Ende des Bettes erreicht hat. Die Richtung des Wärmeimpulses wird durch das Verfahren der Regeneration umgekehrt und die Wärme, die aus der Adsorption der fraglichen Gaskomponente abgeleitet wurde, wird in dem Bett gehalten und zum Desorbieren dieser Komponente während der Regeneration verwendet. Im Unterschied zu TSA wird auf diese Weise vermieden, dass das Regenerationsgas erwärmt werden muss.

[0009] Die thermische Druckwechseladsorption (TPSA) ist ebenfalls zum Entfernen von Kohlendioxid und Wasser aus dem Speisegas geeignet. In einem TPSA-System ist Wasser typischerweise auf eine Zone begrenzt, in der ein Wasseradsorptionsmedium, z. B. aktiviertes Aluminiumoxid oder Silika-Gel angeordnet ist. Eine getrennte Schicht, die ein Molekularsieb für die Adsorption von Kohlendioxid enthält, wird typischerweise verwendet, wobei herkömmlich die Molekularsiebschicht und die Zone zur Adsorption von Wasser getrennt sind. Im Unterschied zu einem TSA-System tritt Wasser nicht in einem bedeutenden Umfang in die Molekularsiebschicht ein, wodurch vorteilhaft die Notwendigkeit vermieden wird, eine große Energiemenge zuzuführen, um das Wasser von der Molekularsiebschicht zu desorbieren. Ein TPSA-Verfahren ist in den Patenten US-A-5.885,650 und US-A-5.846.295 beschrieben.

[0010] Das thermisch verbesserte PSA-Verfahren {TEPSA} verwendet wie TPSA einen zweistufigen Regenerationsvorgang, bei dem Kohlendioxid, das zuvor adsorbiert wurde, durch TSA desorbiert wird und adsorbiertes Wasser durch PSA desorbiert wird. Bei diesem Verfahren erfolgt eine Desorption, indem ein Regenerationsgas bei einem Druck, der niedriger als der Speisestrom ist, und einer Temperatur, die größer als der Speisestrom ist, zugeführt wird und anschließend das heiße Regenerationsgas durch ein kaltes Regenerationsgas ersetzt wird. Das erwärmte Regenerationsgas ermöglicht, dass die Zykluszeit im Vergleich zu der eines PSA-Systems verlängert wird, wodurch Umschaltverluste verringert werden, da Wärme, die durch Adsorption in dem Bett erzeugt wird, teilweise durch die Wärme von dem heißen Regenerationsgas ersetzt werden kann. Ein TEPSA-Verfahren ist im Patent US-A-561400 beschrieben.

[0011] Im Unterschied zu PSA erfordern TSA, TEPSA und TPSA jeweils die Zuführung von Wärmeenergie durch die Erwärmung des Regenerationsgases, jede Prozedur besitzt jedoch ihre eigenen charakteristischen Vorteile und Nachteile. Die Temperaturen, die für das Regenerationsgas benötigt werden, sind typischerweise verhältnismäßig hoch, z. B. 100°C bis 200°C, so dass sich Forderungen an die Projektplanung ergeben, die die Kosten erhöhen. Es gibt typischerweise mehr als eine unerwünschte Gaskomponente, die in dem Verfahren entfernt wird, und im Allgemeinen eine oder mehrere dieser Komponenten wird z. B. Wasser stark adsorbieren und eine weitere wird z. B. Kohlendioxid wesentlich schwächer adsorbieren. Die hohe Temperatur, die zur Regeneration verwendet wird, muss für die Desorption der stärker adsorbierten Komponente ausreichend sein.

[0012] Die hohe Temperatur, die in TSA-, TPSA- und TEPSA-Systemen verwendet wird, kann die Verwendung von isolierten Behältern, einer Regenerationsgas-Vorwärmeinrichtung und einen einlassseitigen Vorkühler erforderlich machen, wobei die hohen Temperaturen im Allgemeinen strengere und kostenaufwändige mechanische Spezifikationen für das System bedeuten. Im Betrieb entstehen zusätzlich Energiekosten, die mit der Verwendung der Ablaufvorheizeinrichtung verbunden sind.

[0013] Die PSA-Systeme vermeiden viele dieser Nachteile, indem die Notwendigkeit der Bewältigung dieser hohen Temperaturen vermieden wird, obwohl die kurze Zykluszeit, die für PSA kennzeichnend ist, ihre eigenen Nachteile mit sich bringt.

[0014] Das Patent EP-A-925 821 beschreibt ein Verfahren zum Betrieb einer Druckwechsel-Adsorptionseinrichtung in einem Luftvorreiniger des PSA-Verfahrens, der Einlassluftbedingungen berücksichtigt. Die Aufgabe der Erfindung im Patent EP-A-925 821 besteht darin, ein verbessertes Verfahren zur Steuerung der Zykluszeit eines PSA-Luftvorreinigers zu schaffen und eine kontinuierliche Steuerung wird in Abhängigkeit von Parametern der Einlassluftzufuhr ausgeübt. Luftzufuhrbedingungen werden überwacht, um den Feuchtigkeitsgehalt der Luft, die in die Adsorptionseinrichtung geleitet wird, zu bestimmen. Das Patent EP-A-925 821 betrifft nicht die TSA-, TPSA- oder TEPSA-Verfahren.

[0015] Bei der Konstruktion eines TSA-, TEPSA- oder TPSA-Systems werden herkömmlich die in der Umgebung vorherrschenden Bedingungen an dem Ort, an dem das Verfahren betrieben werden soll, berücksichtigt, da sich das Niveau von Wasser in dem Speisegas gemäß Schwankungen der lokalen Temperatur und der relativen Feuchtigkeit ändert. Diese Faktoren ändern sich ständig und tägliche oder jahreszeitliche Unterschiede können groß sein und somit kann das Niveau von Wasser in dem Speisegas beträchtlich schwanken. Betriebsparameter in TSA-, TEPSA- und TPSA-Verfahren sind herkömmlich so ausgewählt worden, dass sie die schlechtesten Umgebungsbedingungen berücksichtigen, die möglicherweise auftreten, um einen effizienten Betrieb des Verfahrens zu sichern. Die Verfahrensbedingungen werden im Voraus ausgewählt und bleiben während des Betriebs konstant, um sicherzustellen, dass das Speisegas mit dem wahrscheinlich höchsten Gehalt an Wasser ohne die Gefahr der Überschreitung der Kapazität des Systems zum Entfernen von Wasser verarbeitet werden kann und auf diese Weise vermieden wird, dass Wasser zu einem nachfolgenden Verfahren geleitet wird.

[0016] Die Erfinder haben nun ermittelt, dass TSA-, TEPSA- und TPSA-Systeme nicht unter konstanten Bedingungen betrieben werden müssen, um die schlechtesten Umgebungsbedingungen zu bewältigen, die nach der gegenwärtigen Norm möglicherweise auftreten, sondern die Betriebsbedingungen des Verfahrens können überraschenderweise gemäß Schwankungen der Umgebungsbedingungen variiert werden, indem ein oder mehrere Parameter, die die Zusammensetzung des Speisegases betreffen, gemessen werden, um wesentliche Energieeinsparungen zu schaffen und trotzdem das Verfahren effizient zu betreiben.

[0017] Demzufolge wird in einem ersten Aspekt der Erfindung ein Verfahren zum Betrieb eines Temperaturwechsel-Adsorptionsverfahrens geschaffen, das im Anspruch 1 dargestellt ist.

[0018] Die Verfahrensbedingungen zur Regeneration werden so ausgewählt, dass eine vollständige Regeneration des Adsorptionsmittels möglich ist, und basieren auf dem ermittelten tatsächlichen Wassergehalt des Speisegases. Die ausgewählten Verfahrensbedingungen zur Regeneration sind im Allgemeinen nicht ausreichend, um das Adsorptionsmittel unter den schlechtesten Umgebungsbedingungen zu regenerieren, die in der Umgebung der Anlage vorherrschen, in der das Verfahren betrieben wird, es sei denn die tatsächlichen Umgebungsbedingungen entsprechen den schlechtesten Umgebungsbedingungen. Ein Fachmann ist in der Lage, die schlechtesten Umgebungsbedingungen an einem gegebenen Ort festzustellen, z. B. in der Weise, dass diese Bedingungen beim Entwerfen und Betreiben eines herkömmlichen TSA-Verfahrens bestimmt werden.

[0019] Dieses Verfahren erfordert vorteilhaft, dass eine geringere Wärmeenergie in dem Verfahren verbraucht wird als unter dem herkömmlichen Betriebsregime. Die Leistungsanforderungen eines Hauptluftkompressors, der typischerweise in TSA-Verfahren verwendet wird, können im Vergleich zu denen bei einem herkömmlichen Betrieb bedeutend verringert werden. Die Bestimmung des tatsächlichen Wassergehalts des Speisegases anstelle der Verwendung des angenommenen höheren Gehalts, der unter den schlechtesten Umgebungsbedingungen auftritt, ermöglicht, dass das Verfahren bei einer verringerten Eingabe von Energie betrieben wird, wobei so viel Energie eingespart wird, wie andernfalls aufgewendet werden würde, um den Unterschied zwischen dem tatsächlichen Wassergehalt und dem theoretischen maximalen Wassergehalt unter den schlechtesten Umgebungsbedingungen zu berücksichtigen. Demzufolge dient ein größerer Anteil der Energie, die bei dem Verfahren zugeführt wird, zum Regenerieren des Adsorptionsmittels, wodurch Umweltvorteile der verringerten Energieanforderung und verringerter Verluste sowie ökonomische Vorteile geschaffen werden.

[0020] Mit dem Ausdruck "Temperaturwechsel-Adsorption" sind Adsorptionsverfahren gemeint, bei denen Wärmeenergie zugeführt wird, um das Adsorptionsmittel zu regenerieren, wobei sie, falls nicht anders angegeben, zusätzlich zu TSA-Verfahren TPSA- und TEPSA-Verfahren enthalten.

[0021] Das Speisegas kann ein beliebiges Gas sein, das Kohlendioxid und Wasser enthält, und kann Erdgas oder synthetisches Gas sein. In einer bevorzugten Ausführungsform ist das Speisegas Luft. Nach der Behandlung wird das Gas vorteilhaft einem nachfolgenden Verfahren der kryogenen Zerlegung, insbesondere zur Gewinnung von Sauerstoff und/oder Stickstoff unterzogen.

[0022] Das Speisegas wird vorteilhaft behandelt, indem es mit einem Adsorptionsmittel in einer ersten Zone in Kontakt gebracht wird, um das Wasser zu entfernen, bevor Kohlendioxid in einer zweiten Zone vorteilhaft auf einem zweiten Adsorptionsmittel entfernt wird. Geeignete Adsorptionsmittel enthalten Aluminiumoxid, Silikagel, aktiviertes Aluminiumoxid, imprägniertes Aluminiumoxid und Molekularsiebe, z. B. Zeolite des Typs A und des Typs X.

[0023] Das wasseradsorbierende Material ist vorzugsweise Silika-Gel, aktiviertes Aluminiumoxid, imprägniertes Aluminiumoxid oder Aluminiumoxid und das kohlendioxidadsorbierende Material kann ein Molekularsieb, z. B. ein Zeolit sein. Das Zeolit kann gebunden oder ungebunden sein. Das Zeolit ist vorzugsweise Zeolit 13X, wobei ungebundenes Zeolit 13X stärker bevorzugt ist.

[0024] Das Wasseradsorptionsmittel und das Kohlendioxidadsorptionsmittel sind vorzugsweise in einem Verbundbett angeordnet, wobei sich das Kohlendioxidadsorptionsmittel stromabwärts des Wasseradsorptionsmittels befindet, obwohl bei Bedarf getrennte Betten verwendet werden können.

[0025] Kohlendioxid kann in dem Speisegas bei einem beliebigen Niveau vorhanden sein, die Erfindung besitzt jedoch eine besondere Anwendbarkeit, wenn das Niveau des Kohlendioxids geringer als 1000 ppm ist und insbesondere unter 400 ppm liegt.

[0026] Das TSA-, TPSA- oder TEPESA-Verfahren kann bei Verwendung eines einzelnen Strömungsweges betrieben werden, es wird jedoch vorzugsweise unter Verwendung von wenigstens zwei parallelen Strömungswegen betrieben, um zu ermöglichen, dass das Verfahren zyklisch betrieben wird und eine Adsorption und eine Desorption umfasst, wobei die getrennten Strömungswege gegenphasig zyklisch betrieben werden, um eine pseudokontinuierliche Strömung des Speisegases aus dem Verfahren zu schaffen.

[0027] Das Speisegas wird vorteilhaft zu der Adsorptionsstufe bei einer Temperatur in Bereich von -50 bis 80°C geführt, wobei ein Wert im Bereich von 0 bis 60°C bevorzugt und ein Wert im Bereich von 10 bis 50°C besonders bevorzugt ist. Der Druck des Speisegases beträgt vorteilhaft wenigstens 100000 N/m^2 , wobei ein Wert zwischen 200000 und 4000000 bevorzugt, ein Wert zwischen 200000 und 3000000 stärker bevorzugt und ein Wert zwischen 200000 und 1500000 N/m^2 erwünscht ist.

[0028] In einem zyklischen Verfahren wird das Speisegas in eine Adsorptionszone eingeleitet und mit dem Adsorptionsmittel, das vorteilhaft in der Form eines Bettes vorliegt, in Kontakt gebracht. Wenn die Mischung durch das Adsorptionsmittel geleitet wird, werden vorteilhaft Wasser, Kohlendioxid und wahlweise andere hochsiedende Komponenten adsorbiert und das verbleibende Gas wird dann aus der Adsorptionszone geleitet. Während des Verfahrens bildet sich in dem Adsorptionsmittel eine Front des zu adsorbierenden Gases und bewegt sich durch das Adsorptionsmittel hindurch. Bei Bedarf wird der Adsorptionsschritt dann beendet und die Adsorptionszone wird erwärmt und wahlweise mit einem verminderten Druck beaufschlagt, wobei die Adsorptionszone während der Regeneration von dem adsorbierten Gas gereinigt wird, indem ein Regenerationsgas der Zone zugeführt wird.

[0029] Der Adsorptionsschritt wird vorteilhaft in herkömmlicher Weise betrieben, die einem Fachmann bekannt ist.

[0030] Das Regenerationsgas enthält vorzugsweise ein Gas, das aus einem nachfolgenden Verfahren zurückgewonnen wird, z. B. ein stickstoffreicher Abgasstrom von einer Luftzerlegungsanlage, der trocken und frei von Kohlendioxid ist. Die Regeneration des Adsorptionsmittels wird bei einer Temperatur über der Adsorptionstemperatur des Bettes, vorteilhaft bei einer Temperatur von 80 bis 400°C ausgeführt, wobei ein Wert zwischen 100 und 250°C bevorzugt ist.

[0031] Der Regenerationsdruck liegt vorteilhaft im Bereich von 10000 bis 3000000 N/m^2 , wobei ein Wert zwischen 50000 und 1000000 N/m^2 bevorzugt ist. Es ist insbesondere erwünscht, dass der Regenerationsdruck einen Wert von 50% des Speisegasdruckes nicht überschreitet.

[0032] Das Verfahren wird vorzugsweise bei einer molaren Strömung des Regenerationsgases zu dem Speisegas von $0,1$ bis $0,8$ betrieben, wobei ein Wert von $0,2$ bis $0,5$ stärker bevorzugt ist.

[0033] Die Regenerationsverfahrensbedingungen, die in Reaktion auf den einen oder die mehreren Parameter, die den Wassergehalt des Speisegases betreffen, modifiziert werden, enthalten vorteilhaft die Strömungsrate des Regenerationsgases und seine Temperatur.

[0034] Bei einem TSA-Verfahren wird das Speisegas vorteilhaft während einer Periode von 60 bis 600 Minuten zu der Adsorptionszone geleitet, wobei eine Periode von 70 bis 300 Minuten bevorzugt ist. Bei einem TEPESA-Verfahren wird das Speisegas vorteilhaft während einer Periode von 10 bis 80 Minuten zur Zone der Adsorptionseinheit geleitet, wobei eine Periode von 20 bis 60 Minuten bevorzugt ist.

[0035] In einer bevorzugten Ausführungsform schafft die Erfindung ein Verfahren für die Reduktion des Niveaus von Kohlendioxid und Wasser in einem Speisegas, das im Anspruch 12 dargestellt ist.

[0036] Wie oben angemerkt wurde, kann das Speisegas Erdgas und synthetisches Gas sein und ist vorzugsweise Luft.

[0037] In einem weiteren Aspekt verwendet die Erfindung eine TSA-Verfahrenssteuerungseinrichtung zum Modifizieren von Regenerationsverfahrensbedingungen bei einem TSA-Verfahren, bei welchem ein Speisegas einem Adsorptionsmittel zugeführt wird, Wasser und Kohlendioxid auf dem Adsorptionsmittel adsorbiert werden, wodurch das Gas an Wasser und Kohlendioxid angereichert wird, und das Adsorptionsmittel dadurch regeneriert wird, dass das erwärmte Regenerationsgas mit dem Adsorptionsmittel in Kontakt gebracht wird, um so mindestens einen Teil des adsorbierten Kohlendioxid und Wassers zu desorbieren, wobei die Einrichtung umfasst: eine Regenerationsverfahrensbedingungen-Steuerungseinrichtung, eine Sensoreinrichtung zum Bestimmen eines oder mehrerer Parameter, welche den Wassergehalt des Speisegases betreffen, und eine Steuerungseinrichtung, die dazu in der Lage ist, Informationen zu erhalten, welche den einen oder die mehreren Parameter aus der Sensoreinrichtung betreffen und die Verfahrensbedingungen errechnet, die notwendig sind, um eine ausreichende Energie bereitzustellen, um die Desorption des adsorbierten Kohlendioxids und Wassers basierend auf den Informationen durchzuführen, die von der Sensoreinrichtung erhalten werden, und ein Signal zu der Regenerationsverfahrensbedingungen-Steuerungseinrichtung zu schicken, um die Verfahrensbedingungen so zu modifizieren, dass sie mit den errechneten Bedingungen übereinstimmen.

[0038] Die Regenerationsverfahrenssteuerungseinrichtung weist vorteilhaft eine Strömungssteuerungseinrichtung zum Steuern der Strömung von Regenerationsgas und/oder eine Temperatursteuerungseinrichtung zum Steuern der Erwärmung des Regenerationsgases auf.

[0039] Die Erfindung verwendet außerdem eine TSA-Einrichtung, die umfasst: einen ersten Adsorptionsbehälter und einen zweiten Adsorptionsbehälter, eine Speisegas-Einlassanordnung in Fluidverbindung mit beiden Behältern, eine Auslassanordnung in Fluidverbindung mit beiden Behältern, wobei die beiden Behälter in parallel verlaufenden Strömungssteuerungseinrichtungen angeordnet sind, um es dem Speisegas zu gestatten, abwechselnd durch jeden Behälter und zur Auslassanordnung zu strömen, eine Regenerationsanordnung, die eine Leitung in Fluidverbindung mit der Auslassanordnung und einer Erwärmungseinrichtung umfasst, wodurch ein erwärmtes Regenerationsgas abwechselnd in die Behälter geführt werden kann, und eine TSA-Verfahrenssteuerungseinrichtung, die hier beschrieben wurde und so angeordnet ist, dass sie einen oder mehrere Parameter bestimmt, die den Wassergehalt eines Speisegases betreffen, das der Einlassanordnung zugeführt werden soll, und um die Regenerationsverfahrensbedingungen basierend auf den Parametern zu modifizieren.

[0040] [Fig. 1](#) stellt schematisch eine bevorzugte Ausführungsform der in der Erfindung verwendeten Einrichtung dar, die für eine Verwendung in einem Verfahren gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung geeignet ist.

[0041] In [Fig. 1](#) wird Luft, die gereinigt werden soll, einem Hauptluftkompressor (MAC) **1** zugeführt, in dem sie komprimiert wird, und wird dann zu einer Kühleinrichtung **2** geführt, um wenigstens einen Teil des Wasserdampfes von der gekühlten komprimierten Luft zu kondensieren. Die komprimierte gekühlte Luft wird zu einer Trenneinrichtung **3** geführt, die wirkt, um Wassertröpfchen aus der Zufuhr zu entfernen. Die Trenneinrichtung ist mit einem Einlass **4** verbunden, in welchem sich der Strömungsweg in zwei Wege **5** und **6** teilt, die Einlasssteuerungsventile **7** bzw. **8** aufweisen. Stromabwärts der Steuerungsventile **7** und **8** sind die Einlasswege **5** und **6** durch eine Entlüftung **9**, die Entlüftungsventile **10** und **11** enthält, überbrückt. Ein Schalldämpfer **12** ist mit der Entlüftung **9** verbunden. Adsorptionsbehälter **13** und **14** sind stromabwärts von der Entlüftung **9** mit den beiden Einlasswegen **5** und **6** verbunden. Jeder Behälter **13** und **14** enthält ein Adsorptionsbett, das typischerweise zwei Adsorptionsmittel **15** und **16** bzw. **15'** und **16'** enthält. Der stromaufwärtige Abschnitt der Adsorptionsbetten **15** und **15'** enthält ein Adsorptionsmittel zum Entfernen von Wasser, z. B. aktiviertes Aluminiumoxid oder modifiziertes Aluminiumoxid, und der stromabwärtige Abschnitt der Adsorptionsbetten **16** und **16'** enthält ein Adsorptionsmittel für die Entfernung von Kohlendioxid, z. B. Zeolit. Auslasswege **17** und **18** sind mit jedem Adsorptionsbehälter **13** und **14** verbunden und weisen Auslasssteuerungsventile **19** und **20** auf. Die separaten Auslasswege **17** und **18** verbinden sich stromabwärts von den Steuerungsventilen **19** und **20**, um einen einzigen Auslass **21** zu schaffen, der vorteilhaft mit einer stromabwärtigen Verarbeitungseinrichtung, z. B. eine (nicht gezeigte) kryogene Luftzerlegungseinrichtung verbunden ist. Stromaufwärts von den Auslasssteuerungsventilen **19** und **20** sind die Auslasswege **17** und **18** durch einen Regenerationsgaseinlass **22** gebrückt, wobei die Brücke Regenerationsgassteuerungsventile **23** und **24** enthält. Eine weitere Überbrückungsleitung **25** stromaufwärts von dem Regenerationsgaseinlass **22** enthält ebenfalls ein Steuerungsventil **26**.

[0042] Der Regenerationsgaseinlass **22** ist mit einer Einrichtung zum Liefern des Regenerationsgases verbunden, die eine Regenerationsgaszufuhr **27** enthält, die entweder durch eine Heizeinrichtung **28** oder durch eine Überbrückungsleitung **29** zu dem Regenerationsgaseinlass **22** führen kann. Steuerungsventile **30** und **31** sind vorgesehen, um die Strömung und den Weg des Regenerationsgases zu steuern. Das Regenerationsgas wird vorteilhaft von der stromabwärtigen Verarbeitungseinrichtung erhalten und durch den Auslass **21** zugeführt.

[0043] Ein Ventil oder alle Ventile sind vorteilhaft mittels programmierbarer Zeitgebermittel und Ventilöffnungsmittel steuerbar, die in der Technik bekannt sind und zur Einfachheit nicht dargestellt sind.

[0044] Eine Strömungsanzeigesteuerung **32** ist in der Regenerationsgaszuführung **27** vorgesehen, um die Strömung des Regenerationsgases zu dem Einlass **22** zu messen und zu steuern. Die Strömungsanzeigesteuereinheit **32** ist mit einer Temperaturanzeigesteuereinheit **33** verbunden, die mit einer Erwärmungsfolgesteuereinrichtung **34** verbunden ist, um die Erwärmung des Regenerationsgases zu steuern. Ein Temperatursensor **35** ist mit der Temperaturanzeigesteuereinheit **33** verbunden und ist so angeordnet, dass er die Temperatur des Speisegases messen kann. Da das Speisegas an diesem Punkt mit Wasser gesättigt ist (RH gleich 100%), liefert die Temperatur den Wassergehalt des Speisegases. Weitere Einrichtungen zum Messen von einem oder mehreren Parametern, die den Wassergehalt des Speisegases betreffen, das zu dem Einlass **4** geleitet wird, können verwendet werden.

[0045] Im Gebrauch wird Luft in dem MAC **1** komprimiert und dann über die Kühleinrichtung **2** und die Trenneinrichtung **3** zu dem Einlass **4** geleitet und bewegt sich durch einen der beiden Adsorptionsbehälter **13** und **14** (der "eingeschaltete" Behälter) in der Stromabwärtsrichtung. Der andere Adsorptionsbehälter empfängt Regenerationsgas vom Einlass **22**, das in der entgegengesetzten Richtung zu der Luftströmung in den ersten Adsorptionsbehälter strömt.

[0046] Wenn der Behälter **13** eingeschaltet ist, bewegt sich Luft durch das offene Ventil **7** zum Behälter **13** und durch das offene Ventil **19** zu dem Auslass **21** für eine nachfolgende Verarbeitung. Das Ventil **8** wird geschlossen, wenn der Adsorptionsbehälter **14** von der Luftzufuhr abgeschaltet wird. Die Ventile **20**, **23**, **24**, **26**, **10** und **11** sind adle geschlossen. Um eine Regeneration des Bettes in dem Adsorptionsbehälter **14** zu beginnen, wird das Ventil **14** geöffnet, um im Behälter **14** den Druck herabzusetzen, und das Ventil **24** wird geöffnet, um zuzulassen, dass eine Strömung des Regenerationsgases durch den Adsorptionsbehälter **14** verläuft. Das Regenerationsgas ist typischerweise eine Strömung von trockenem, von Kohlendioxid freien Stickstoff, die von einer stromabwärtigen Verarbeitungseinheit, z. B. der Kühlbox einer Luftzerlegungseinheit erhalten wird. Das Ventil **30** wird geöffnet, um zuzulassen, dass Regenerationsgas durch die Heizeinrichtung **18** verläuft und z. B. auf eine Temperatur von 100°C und mehr erwärmt wird, bevor es bei der erforderlichen Temperatur in den Behälter **14** geleitet wird. Wenn sich das Regenerationsgas durch den Behälter **14** bewegt, wird Kohlendioxid desorbiert und eine Wärmewelle verläuft durch das Adsorptionsbett **16'**. Zu einem geeigneten Zeitpunkt, z. B. wenn die Wärmewelle sich in das Bett **15'** bewegt, wird das Ventil **30** geschlossen und das Ventil **31** wird geöffnet, so dass das Regenerationsgas nicht erwärmt wird und sich in den Behälter **14** bewegt und den Wärmepuls weiter durch das Adsorptionsmittel **15'** verlagert.

[0047] Während das Adsorptionsmittel **16'** durch TSA regeneriert wurde, desorbiert das kühle Regenerationsgas durch seinen verminderten Druck Wasser aus dem Adsorptionsmittel **15'** durch PSA und in Abhängigkeit davon, ob sich die Wärmewelle in das Adsorptionsmittel **15'** bewegt hat, auch durch TSA.

[0048] Am Ende der Regenerationsperiode wird das Ventil **24** geschlossen und das Ventil **26** wird geöffnet, um das Regenerationsgas aus dem Bett im Behälter **14** zu verdrängen. Das Ventil **11** wird dann geschlossen, um den Behälter **14** mit gereinigter Luft erneut mit Druck zu beaufschlagen. Das Ventil **26** wird dann geschlossen und die Ventile **8** und **20** werden geöffnet, wodurch der Behälter **14** eingeschaltet wird.

[0049] Der Behälter **13** kann dann in einer ähnlichen Weise wie in dem oben beschriebenen Prozess regeneriert werden, wobei die Behälter **13** und **14** in phasengesteuerten Betriebszyklen eingeschaltet sind, drucklos gemacht werden, regeneriert werden, mit Druck beaufschlagt werden und in den eingeschalteten Betrieb zurückkehren.

[0050] Der durch den Sensor **35** bestimmte Parameter wird zu der Temperaturanzeigesteuereinheit **33** geführt, die in Abhängigkeit von den vom Sensor **35** empfangenen Informationen eine geeignete Strömungsrate und eine Temperatur für das Regenerationsgas basierend auf dem Wassergehalt des Speisegases berechnet und durch die Strömungsanzeigesteuerung **32** und die Wärmefolgesteuerungseinrichtung **34** die Strömungsrate und/oder die Temperatur des Regenerationsgases modifiziert. Der Sensor **35** kann Parameter des Gases

kontinuierlich oder periodisch, z. B. stündlich oder täglich bestimmen und die Strömung und/oder die Temperatur des Regenerationsgases werden in Reaktion auf diese Daten modifiziert.

[0051] Die Erfindung wird durch die folgenden nichteinschränkenden Beispiele erläutert

Beispiel 1 und Vergleichsbeispiele A und B

Feste Zykluszeit, variabler Betrieb der Heizeinrichtung

[0052] Ein erfindungsgemäßes Adsorptionsverfahren wurde unter Verwendung der in [Fig. 1](#) dargestellten Einrichtung und gemäß den Verfahrensparametern, die in Tabelle 1 dargestellt sind, ausgeführt. Für Vergleichszwecke wurden außerdem ein TPSA-Verfahren und ein TSA-Verfahren ausgeführt, jedoch ohne Bestimmung des Wassergehalts des Speisegases und bei einem Betrieb mit Regenerationsverfahrensbedingungen, die gemäß den schlechtesten Umgebungsbedingungen eingestellt waren.

[0053] Tabelle 1 zeigt die Vorteile der Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens im Vergleich zu einem herkömmlichen TPSA-Verfahren (Vergleichsbeispiel A) und der herkömmlichen TSA-Technologie (Vergleichsbeispiel B). Das Verfahren von Beispiel 1, das auf einer jährlich oder jahreszeitlich gemittelten Umgebungssystem ($P/A = 0,5$) basiert, hat eine 42%ige Leistungsverringerung gegenüber TPSA und eine 78%ige Leistungsverringerung gegenüber dem herkömmlichen TSA zur Folge.

Tabelle 1

Parameter	Einheiten	Vergleichsbeispiel B	Beispiel 1	Vergleichsbeispiel A
Luftströmung	Nm ³ /h	130000	130000	130000
Druck	N/m ²	520000	520000	520000
Spüldruck	N/m ²	110000	110000	110000
Zufuhr-temperatur	°C	40	30	40
eingeschaltet (außer Regeneration)	min	177,0	117,00	117,00
Erwärmungsdauer	min	55	43,00	43,00
max. Impulstemperatur	°C	210	70,00	110,00
P/A	-	0,50	0,50	0,50
benötigte Wärme	kW	1109,06	248,63	428,67
Verbrauch an Regenerationsleistung	kW/Nm ³ h Luft	0,00853	0,00191	0,00330
Verhältnis zugeführte) desorbierte Wärme		1,1000000	0,4000000	0,4000000

[0054] Infolge des verringerten Drucks bei einem TPSA-Betrieb im Vergleich zu TSA wird eine geringere Wärme für die Regeneration eines vergleichbaren Adsorptionsmittels benötigt. Demzufolge kann das Verfahren mit einer kürzeren Dauer im "eingeschalteten" Zustand bei einer vorgegebenen Strömungsrate betrieben werden.

[0055] Ferner wurde die Zufuhrtemperatur in Beispiel 1 mit 30°C gemessen, wohingegen bei den Vergleichsbeispielen eine Zufuhrtemperatur von 40°C angenommen wurde, was die schlechtesten Umgebungsbedingungen widerspiegelt. Demzufolge ist die Wärme, die für die Regeneration in Beispiel 1 erforderlich ist, viel geringer als die in den Vergleichsbeispielen A und B, wodurch eine geringere maximale Impulstemperatur möglich ist und im Vergleich zum Vergleichsbeispiel B eine viel kürzere Dauer im "eingeschalteten" Zustand. Kurz gesagt, es wurde ein geringeres Wärmeniveau während einer kürzeren Zeitperiode als bei dem geschätzten Gehalt bei den schlechtesten Umgebungsbedingungen benötigt, um eine Regeneration als ein Ergebnis der

Modifizierung der Regenerationsverfahrensbedingungen basierend auf dem tatsächlichen Wassergehalt des Speisegases zu bewirken.

Beispiel 2 und Vergleichsbeispiel C

Variable Zyklusdauer, variables P/A-Verhältnis

[0056] Ein erfindungsgemäßes Adsorptionsverfahren wurde unter Verwendung der in Tabelle 2 dargestellten Einrichtung ausgeführt. Für Vergleichszwecke wurde ein TEP-SA-Verfahren unter Verwendung der gleichen Einrichtung betrieben, jedoch ohne Bestimmung des Wassergehalts des Speisegases.

Tabelle 2

Parameter	Einheiten	Beispiel 2	Vergleichsbeispiel C
Luftströmung	Nm ³ /h	130000	130000
Druck	N/m ²	520000	520000
Bett- & Kreis-Druckabfall der Spülungsseite	N/m ²	5172	20700
Zufuhrtemperatur	°C	21 (Winter)	40 (Hochsommer)
eingeschaltet	min	139,00	117,00
Erwärmungsdauer	min	43,00	43,00
max. Impulstemperatur	°C	130,00	110,00
P/A	-	0,25	0,50
Wärmebedarf	kW	290,84	428,67
Leistungsverbrauch der Regeneration	kW/Nm ³ h Luft	0,00224	0,00330
Verhältnis zugeführte/desorbierte Wärme		0,2900000	0,4000000
MAC-Leistung einschließlich Regenerationskreis	kW	8699	9176
jahreszeitlich eingestellte MAC-Leistungsverringernug infolge des Regenerationskreises	kW	238	0,000

[0057] Die Angabe für die jährlich eingestellte Leistungsverringernug setzt voraus, dass das Verfahren bei einer verringerten MAC-Leistung bei 50% der Zeit betrieben wird.

[0058] Die Menge des Adsorptionsmittels in einem Luftreinigungssystem wird anhand von schlechten Zufuhrbedingungen oder einer Wasserbelastung bestimmt, die bei den schlechtesten Bedingungen, typischerweise im Hochsommer auftreten. Bei TPSA und TEP-SA ist das Speisegas dann, wenn seine Temperatur unter der Spitzenzufuhrtemperatur liegt, mit weniger Wasser beladen. Die Ergebnisse von Tabelle 2 zeigen, dass bei Verwendung der vorliegenden Erfindung die Kühlperiode vergrößert werden kann und/oder das P/A-Verhältnis verringert werden kann. Wenn die Heizeinrichtung weniger häufig verwendet wird, ist der Gesamtenergieverbrauch ebenfalls geringer. Die Ergebnisse demonstrieren, dass die Leistungsbelastung durch Verwendung der vorliegenden Erfindung um mehr als 30% verringert werden kann.

[0059] Im Beispiel 2 wird eine geringere Wärme benötigt, so dass zugelassen wird, dass sich der Wärmeimpuls durch das Adsorptionsmittel langsamer bewegt als im Vergleichsbeispiel C bei einer konstanten Erwärmungsdauer. Die verringerte Strömung ermöglicht überraschenderweise, dass eine höhere Regenerationstemperatur verwendet werden kann, wobei jedoch trotzdem ein bedeutend geringerer Gesamtwärmebedarf erreicht wird.

[0060] Durch Einstellen des P/A-Verhältnisses wird im Beispiel 2 demonstriert, dass eine Leistungsverringerung des Hauptluftkompressors (MAC) ebenfalls erreicht werden kann. In einem nachfolgenden Verfahren der kryogenen Luftreinigung durch Destillation wird Luft in dem Hauptluftkompressor (MAC) komprimiert und anschließend gekühlt, durch ein Adsorptionsmittelbett und anschließend zu einer kryogenen Luftzerlegungseinheit geleitet. Das Regenerationsgas wird typischerweise aus dem Abgasstrom vom kryogenen Destillationssystem abgeleitet. Der Druckabfall dieses Kreises hat einen vervielfachenden Einfluss auf die MAC-Leistung in der Größenordnung von 3. Durch den Betrieb des Verfahrens bei einem geringeren P/A-Verhältnis wird eine geringere MAC-Energie benötigt infolge der geringeren Spülungsströmung und dem dadurch verringerten Verlust der komprimierten Luft. Der MAC-Leistungsbedarf in einer großen Luftzerlegungseinheit ist in Tabelle 2 gezeigt, wobei die vorliegende Erfindung einen verringerten MAC-Leistungsbedarf schafft.

[0061] Dieses Beispiel veranschaulicht, dass jahreszeitliche Einsparungen in der Größenordnung von 2% der MAC-Leistung erreicht werden können. Diese Einsparung erfolgt zusätzlich zu den Vorteilen der geringeren Regenerationsenergie.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Adsorptionsprozesses mit Wärmeaustausch (Wärmeschaukel), wobei Wasser und Kohlenstoffdioxid durch Adsorption an wenigstens einem Adsorptionsmittel entfernt werden, umfassend das direkte oder indirekte Bestimmen eines oder mehrerer Parameter, die den Wassergehalt eines Wasser und Kohlenstoffdioxid enthaltenden Speisegases betreffen, wobei das Verfahren Folgendes umfasst: Leiten des Speisegases durch einen ersten Abschnitt eines Adsorptionsmittels in einem Bett **15**, **15'** zum Entfernen von Wasser und einen zweiten Abschnitt in einem Bett **16**, **16'** zum Entfernen von Kohlenstoffdioxid, Wählen von Prozessbedingungen für die Regeneration des wenigstens einen Adsorptionsmittels in dem Adsorptionsprozess mit Wärmeaustausch und Leiten eines Regenerationsgases durch ein Ventil **30** zum Strömen durch eine Heizeinrichtung **28** und durch den zweiten Abschnitt des Adsorptionsmittels in dem Bett **16**, **16'**, so dass eine Wärmewelle durch den zweiten Abschnitt des Adsorptionsmittels verläuft, Schließen des Ventils **30** und Öffnen eines zweiten Ventils **31**, so dass die Strömung des Regenerationsgases nicht erwärmt wird und in das zweite Adsorptionsmittel verläuft und den Wärmeimpuls weiter durch den ersten Abschnitt des Adsorptionsmittels verlagert, um Wasser von einem Abschnitt hiervon unter Regenerationsbedingungen einer Adsorption mit Druckaustausch anhand der Parameter zu desorbieren, und Modifizieren der Regenerationsprozessbedingungen, damit sie den ausgewählten Prozessbedingungen für eine Regeneration entsprechen, so dass adsorbiertes Wasser und Kohlenstoffdioxid desorbiert werden, wodurch das wenigstens eine Adsorptionsmittel regeneriert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Speisegas aus synthetischem Gas, Erdgas und Luft ausgewählt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Speisegas Luft ist.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Adsorptionsmittel aus Aluminiumoxid, Kieselgel, aktiviertem Aluminiumoxid, imprägniertem Aluminiumoxid und einem Molekularsieb ausgewählt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, das ein erstes Adsorptionsmittel, das aus Kieselgel, aktiviertem Aluminiumoxid, imprägniertem Aluminiumoxid und Aluminiumoxid ausgewählt wird, und ein zweites stromabseitig angeordnetes Adsorptionsmittel, das ein Zeolith umfasst, umfasst.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei der Zeolith Zeolith X ist.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Speisegas eine Temperatur von -50 bis 80°C aufweist.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Regeneration des Adsorptionsmittels bei einer Temperatur von 80 bis 400°C ausgeführt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Adsorptionsmittel mittels eines Regenerationsgases regeneriert wird und das molare Verhältnis von Regenerationsgas zu Speisegas $0,1$ bis $0,8$ beträgt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das Regenerationsgas mit einem Druck von 50000 bis 1000000 N/m² beaufschlagt ist.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Speisegas mit einem Druck von 200000 bis 4000000 N/m² beaufschlagt ist.

12. Verfahren zum Verringern des Gehalt an Kohlenstoffdioxid und Wasser in einem Speisegas, umfassend Leiten des Speisegases zu einer Adsorptionszone, die ein Adsorptionsmittel enthält, Herstellen eines Kontakts zwischen Gas und Adsorptionsmittel, um Wasser und Kohlenstoffdioxid aus dem Gas zu entfernen, und Leiten des an Wasser und Kohlenstoffdioxid verarmten Gases zu einem kryogenen Trennungsprozess, wobei wenigstens eine der Komponenten des an Wasser und Kohlenstoffdioxid verarmten Gases wiedergewonnen wird, wobei das Adsorptionsmittel durch Erhitzen nach der Adsorption gemäß im Voraus festgelegten Regenerationsbedingungen regeneriert wird, wobei das Verfahren Folgendes umfasst: direktes oder indirektes Bestimmen eines oder mehrerer Parameter, die den Wassergehalt des Speisegases vor dem Kontakt mit dem Adsorptionsmittel betreffen, Leiten des Speisegases durch einen ersten Abschnitt des Adsorptionsmittels in einem Bett **15**, **15'** zum Entfernen von Wasser und einen zweiten Abschnitt in einem Bett **16**, **16'** zum Entfernen von Kohlenstoffdioxid, Wählen von Prozessbedingungen für eine Regeneration des wenigstens einen Adsorptionsmittels in Reaktion auf den einen oder die mehreren Parameter und Modifizieren der Regenerationsprozessbedingungen, damit sie den gewählten Prozessbedingungen für eine Regeneration entsprechen, Leiten eines Regenerationsgases durch ein Ventil **30**, damit es durch eine Heizeinrichtung **28** und durch den zweiten Abschnitt des Adsorptionsmittels in dem Bett **16**, **16'** fließt, so dass eine Wärmewelle durch den zweiten Abschnitt des Adsorptionsmittels verläuft, und gemäß den gewählten Prozessbedingungen Schließen des Ventils **30** und Öffnen eines zweiten Ventils **31**, so dass der Strom des Regenerationsgases nicht erwärmt wird und in das zweite Adsorptionsmittel verläuft und den Wärmeimpuls weiter durch den ersten Abschnitt des Adsorptionsmittels verlagert, um Wasser aus einem Abschnitt hiervon unter den Regenerationsbedingungen der Adsorption mit Druckaustausch zu desorbieren.

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei das Speisegas aus Erdgas, synthetischem Gas und Luft ausgewählt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei das Speisegas Luft ist.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, wobei das Adsorptionsmittel aus Aluminiumoxid, Kieselgel, aktiviertem Aluminiumoxid, imprägniertem Aluminiumoxid und einem Molekularsieb ausgewählt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, das ein erstes Adsorptionsmittel, das aus Kieselgel, aktiviertem Aluminiumoxid, imprägniertem Aluminiumoxid und Aluminiumoxid ausgewählt wird, und ein zweites stromabseitig angeordnetes Adsorptionsmittel, das ein Zeolith umfasst, umfasst.

17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei der Zeolith Zeolith X ist.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 17, wobei das Speisegas eine Temperatur von -50 bis 80°C aufweist.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 18, wobei die Regeneration des Adsorptionsmittels bei einer Temperatur von 80 bis 400°C ausgeführt wird.

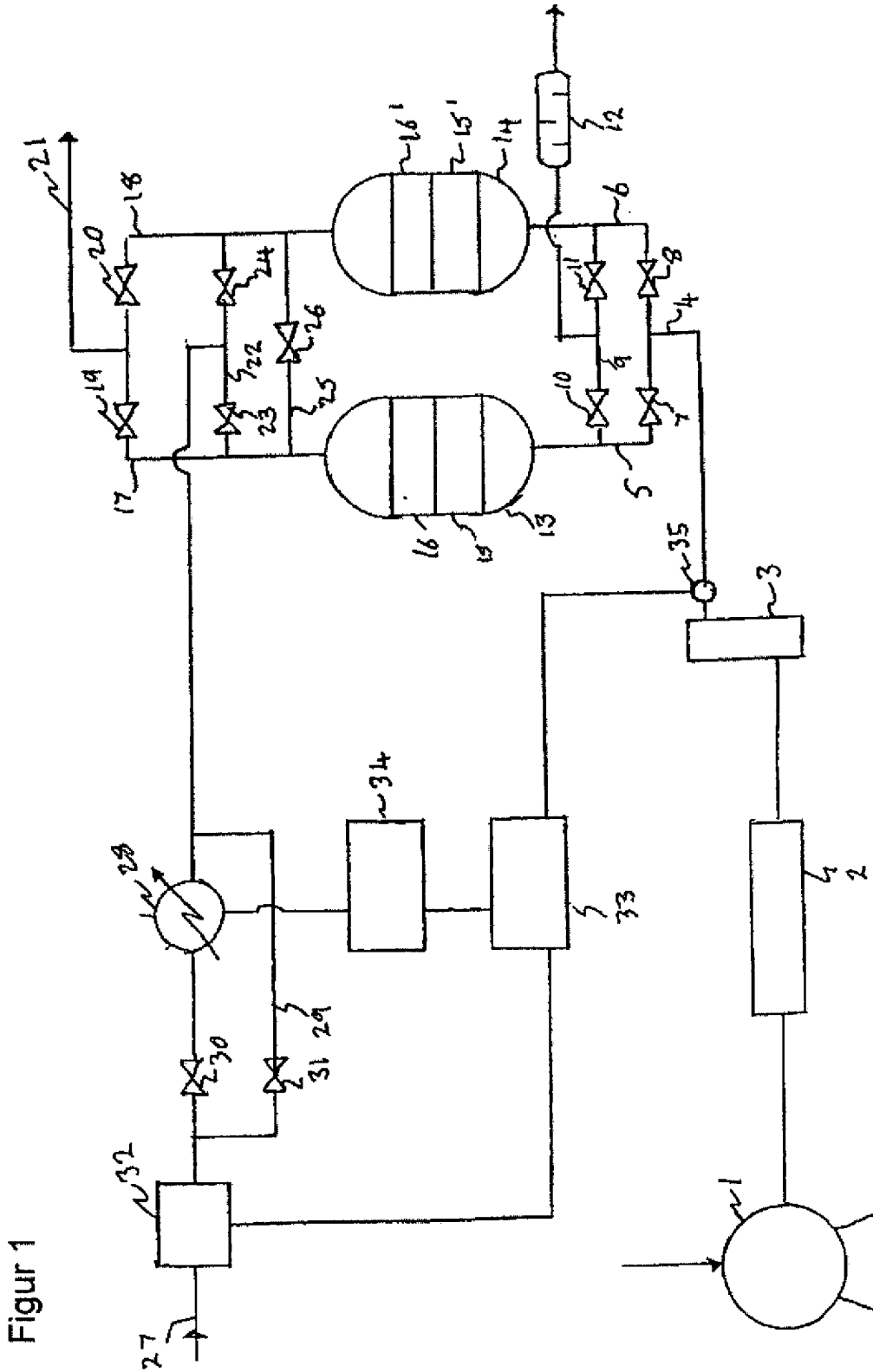
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 19, wobei das Adsorptionsmittel mittels eines Regenerationsgases regeneriert wird und das molare Verhältnis von Regenerationsgas zu Speisegas 0,1 bis 0,8 beträgt.

21. Verfahren nach Anspruch 20, wobei das Regenerationsgas mit einem Druck von 50000 bis 1000000 N/m² beaufschlagt ist.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 21, wobei das Speisegas mit einem Druck von 200000 bis 4000000 N/m² beaufschlagt ist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



Figur 1