

Prozessbeschreibung

Biogasaufbereitungsanlage (Membrantechnologie)



Inhaltsübersicht

1	Einführung	3
2	Trocknen & optionales Scrubbing	4
3	Feinentschwefelung	4
4	Option VOC-Entfernung	5
4.1	Arbeitsplattform	5
5	Hauptkompressor	5
6	Trennung durch Membranen	6
7	Option RTO – Nachverbrennung	7
8	Hilfseinrichtungen	8
8.1	Versorgung mit Frischwasser	8
8.2	Wasserkühlung	8
8.3	Druckluftzufuhr	8
8.4	Biogas- und Biomethan-Analysator für den Aufbereitungsprozess	8
8.5	Lüftung inkl. Raumluftüberwachung	8

1 Einführung

In den folgenden Abschnitten wird der Prozess der Biogasaufbereitung beschrieben.

Biogas-Aufbereitungsanlage

Die gesamte Aufbereitungsanlage setzt sich aus mehreren Hauptkomponenten zusammen. Die Konstruktion der Aufbereitungsanlage ist sehr kompakt, was zu einem geringen Montageaufwand vor Ort führt. Das Membransystem einschließlich der SPS für die gesamte Aufbereitungsanlage ist in einem komplett eingerichteten 40'-Container untergebracht. Innerhalb des Containers befindet sich ein Elektroraum und davon durch eine gasdichte Wand getrennt der Gasaufbereitungsraum. Weitere Hauptkomponenten, vor allem die Ausrüstung für die Vorbehandlung des Biogases, der Verdichter und die Aufbereitung des Schwachgases (RTO), sind auf einem Betonfundament neben den Containern installiert. Die mit dem Biogas in Berührung kommenden Komponenten, Rohrleitungen und Geräte sind aus rostfreiem Stahl gefertigt.

Prozessschritte und Anlagenkomponenten

Folgende Schritte / Anlagenteile sind Teil des Prozesses:

- Trocknen, Scrubbing
- Feinentschwefelung und Vorkomprimierung
- Entfernung von VOCs/Terpenen
- Hauptkompression
- Membrantrennung (3-stufig)
- Druckluftinstrumentierung
- Quantitative und qualitative Messung von eingespeistem Gas und produziertem Gas

Weitere Informationen über den Prozessablauf finden Sie im Prozessablaufdiagramm.

HINWEIS: Die unten gezeigten Bilder stellen typische Systeme oder Komponenten im Biogasaufbereitungsprozess dar. Sie entsprechen nicht notwendigerweise exakt dem Liefer- und Leistungsumfang von Hitachi Zosen Inova BioMethan (HZIB).

Betrieb der Anlage

Die Anlage ist grundsätzlich für den Fernbetrieb ausgelegt. Es wird jedoch empfohlen, jeden Tag einen geschulten Bediener vor Ort zu haben, um die täglichen Routinearbeiten durchzuführen und sicherzustellen, dass die Anlage ordnungsgemäß läuft. In dieser Zeit werden in der Regel auch alle Wartungs- und Servicearbeiten durchgeführt. An den Wochenenden müssen nur kurze Inspektionen durchgeführt werden, und für die schichtfreien Zeiten ist ein Not- bzw. Bereitschaftsdienst einzurichten.

2 Trocknen & optionales Scrubbing

Das Einsatzgas ist zu 100% wassergesättigt und hat eine Temperatur von ca. 5 - 40°C. Es enthält Ammoniak, das zunächst entfernt werden muss. Dazu wird der Rohbiogasstrom durch einen Wärmetauscher gekühlt, bei dem mit dem auskondensierenden Wasser Ammoniak entfernt wird. Bei höheren Ammoniakkonzentrationen wird ein Gaswäscher genutzt, den das Biogas von unten nach oben durchströmt. In dieser Kolonne verteilt eine Vollkegeldüse gekühltes Prozesswasser im Gegenstrom.

Die Kolonne ist mit einem Schüttbett gefüllt, um die Phasengrenzfläche zu vergrößern. Nachdem das Wasser das aufsteigende Biogas gekühlt und Ammoniak und Kondensattröpfchen aus dem Biogas entfernt hat, wird es am Kolonnensumpf gesammelt und über eine Pumpe in der Zirkulationsleitung dem Stutzen am Kopf des Wäschers wieder zugeführt. In der Zirkulationsleitung wird das verunreinigte Wasser mit höherer Temperatur durch einen Schmutzfänger gereinigt und fließt durch einen Wärmetauscher, der die Temperatur wieder absenkt. Das Kondensat und ein Teil des verschmutzten Wassers werden verworfen und periodisch durch Frischwasser ersetzt.

Das abgekühlte und aufbereitete Biogas verlässt den Wäscher an der Oberseite. Um zu verhindern, dass Kondensattröpfchen in die Rohrleitung gelangen, ist am oberen Ende der Biogaswaschanlage ein Demister angebracht.

3 Feinentschwefelung

Im nächsten Prozessschritt wird das Biogas mit einem Radialgasgebläse auf ca. 250 mbar(g) verdichtet und mit dem Trockenrezyklat der Membrananlage vermischt, bevor es in die VOC-Entfernung gelangt.

In der nächsten Stufe werden je nach H₂S-Konzentration Aktivkohlefilter zur Entfernung von H₂S seriell verschaltet eingesetzt. Bei diesem Verfahren werden Restkonzentrationen von weniger als 5 ppm H₂S im Biogas erreicht.



Bild 1 - Muster eines Doppelentschwefelungsmoduls

Eine imprägnierte Aktivkohle wird für die Entschwefelung von Biogas verwendet. Durch die Imprägnierung werden der Aktivkohle katalytische Eigenschaften verliehen. Schwefelwasserstoff wird mit dem Reaktionspartner Sauerstoff (in der Regel im Biogas in den erforderlichen niedrigen Konzentrationen vorhanden) zu elementarem Schwefel oxidiert. Die Reaktionsprodukte werden im Porensystem der Aktivkohle physikalisch adsorbiert. Die Adsorptionskapazität der Aktivkohle nimmt während der Adsorption der Schadstoffe ab.

4 Option VOC-Entfernung

Bei bestimmten Projekten ist es erforderlich, einen zusätzlichen Filter zur Entfernung von VOC und Terpenen einzusetzen. Die zur Entfernung von VOC und Terpenen verwendete Kohle ist ein undotiertes/unimprägniertes Kohleprodukt auf Steinkohlebasis. In diesem Prozessschritt wird auch ein gewisser Prozentsatz an H_2S adsorbiert.

4.1 Arbeitsplattform

Für die Wartung der Aktivkohlefilter für H_2S und VOCs/Terpene/Siloxane, insbesondere den Wechsel der Aktivkohlefiltersektionen, ist eine Hebevorrichtung vorgesehen. Eine Zugangsleiter und eine Arbeitsplattform ergänzen die Hebevorrichtung für einen sicheren und einfachen Aktivkohlewechsel.

5 Hauptkompressor

Das vorkonditionierte Rohbiogas wird mit einem Schraubenverdichter auf den Betriebsdruck von 16 bar(g) verdichtet. Um die anschließende Kondensatbildung zu verhindern, wird dem Gasgemisch Wärme entzogen, so dass die Taupunkte des Wasserdampfes und anderer kondensierbarer Gase abgesenkt werden. Die Kälte wird durch einen Trockenkühler bereitgestellt. Das Kondensat wird durch einen Abscheider für Leichtstoffe geleitet, der mögliches Öl aus dem Schraubenkompressor abscheidet, und dann aus dem Prozess entfernt. Das Öl wird in regelmäßigen Abständen entsprechend dem Wartungsplan manuell entsorgt. Das Kondensat kann über eine Kondensatsammelgrube in den Biogasprozess zurückgeführt werden.

Um die Abscheideeigenschaften der Membran zu verbessern und eine Kondensation in den Modulen zu verhindern, muss die Temperatur des abgekühlten Gases und des vorgewärmten Gases um mindestens 20 K erhöht werden. Diese notwendige Wärme wird dem Wärmerückgewinnungssystem der Schraubenverdichter entnommen. Während der Aufwärmphase wird das Rohgas über einen Bypass zur Saugseite zurückgeführt, bis die gewünschte Gastemperatur erreicht ist. Dann tritt das Gas in die erste Stufe des Membrantrennverfahrens ein.

Fast die gesamte vom Schraubenkompressor erzeugte Wärme kann zurückgewonnen und zur Senkung der allgemeinen Energiekosten genutzt werden. Das Gerät ist mit einem Wärmerückgewinnungssystem ausgestattet, um die maximale Energieeinsparung durch den

Kompressor zu erzielen. Es besteht aus einem Wasser/Öl-Wärmetauscher, der die Wärme des Kompressoröls an Sanitäranlagen, Zentralheizungen oder industrielles Prozesswasser. Mit diesem System können bis zu 80 % der Wärmeenergie des Kompressors zurückgewonnen werden.

6 Trennung durch Membranen

Zunächst müssen alle im Gas enthaltenen Partikel entfernt werden, um zu verhindern, dass sich Stoffe auf den Membranen ablagern (Fouling), die die Durchlässigkeit verringern würden. Deshalb wird nach der Einleitung des komprimierten Biogases in den Membranbehälterteil eine Filtereinheit installiert. In diesem Filter werden Ölaerosole und Feststoffpartikel entfernt. Ein Aktivkohle-Schutzfilter (Adsorptionsfilter) entfernt restliche Ölpartikel und andere Stoffe aus dem Gasstrom. In einem letzten Schritt werden weitere Aerosole und Feststoffe durch einen Feinfilter entfernt.

Nach der Aufbereitung des Rohbiogases wird es dem Trennverfahren zur Erzeugung von Biomethan unterzogen. Hierfür werden die einzelnen Membranmodule stufenweise mit jeweils parallelen Modulen angeordnet.

- **Stufe 1:** Der Rohbiogaszufuhrstrom wird in die methanreiche Retentatkomponente und die mit Kohlendioxid angereicherte Permeatkomponente vorgetrennt. Der Retentatstrom wird in Stufe 2 und das Permeat in Stufe 3 eingeleitet.
- **Stufe 2:** Die Gaskomponenten werden fein abgetrennt. Das Retentat aus der ersten Stufe wird erneut durch den Trennprozess geleitet. Dadurch wird die erforderliche Reinheit des Biomethans auf der Retentatseite (Produktgasstrom) erreicht und das Methan kann dem nachgeschalteten System zugeführt werden. Das Permeat wird als Rezyklat auf der Saugseite des Kompressors zurückgeführt.
- **Stufe 3:** Der Gasstrom wird ebenfalls fein zerlegt. Dadurch wird das Kohlendioxid mit einem geringen Restanteil an Methan (unter 0,5-2%) als Schwachgas in die Schwachgasleitung geleitet. Das methanreiche Retentat wird als zweiter Rezyklatstrom auf die Saugseite zurückgeführt. Das Retentat dieser Stufe, das Permeat der zweiten Stufe und das Rohbiogas werden auf der Saugseite gemischt und dann erneut durch den Prozess geleitet.

Am Ende dieses 3-stufigen Prozesses kann der Ausgangsdruck der Membrananlage bis zu 14,5 bar(g) betragen und der CH₄-Gehalt erreicht eine Konzentration von bis zu 98%. Der Ausgangsdruck hängt von den nachgeschalteten Einheiten und der Einstellung des Absperrventils ab.

In den vorangegangenen Prozessschritten wurde das Biomethan so konditioniert, dass es den Anforderungen an das Produktgas entspricht. Das Ergebnis dieses Prozesses wird nun mit einem Gasanalysator und einem Durchflussmesser überprüft. Erfüllt das aufbereitete Biomethan nicht die geforderten Qualitätsparameter, wird es in eine Biomethanfackel oder in einen Biogasspeicher umgeleitet.

7 Option RTO – Nachverbrennung

Die Abluftreinigungsanlage dient zur Reinigung von Abgas (Permeat) aus der Aufbereitung von Biogas zu Bioerdgas nach einer Membran-Reinigungsstufe. Das Abgas besteht im Wesentlichen aus Kohlendioxid und Methan, wobei die Methankonzentration zwischen 0,5 und max. 1,0 Vol.-% beträgt.

Die Regenerativ-Thermische Nachverbrennungsanlage (RNV-Anlage) stellt die Reinigung dieses Abluftstroms bei minimalem Energieverbrauch sicher und wird komplett vormontiert in einem Grundrahmen geliefert.

Kernstück der RNV-Anlage sind zwei Reaktorkammern, die mit keramischen Wabenkörpern zur Wärmespeicherung befüllt und über einen gemeinsamen Oxidationsraum verbunden sind. Vor Eintritt in die RNV-Anlage wird dem Abgas Frischluft beigemischt, um so eine Methankonzentration von 2-3 g/Nm³ zu erhalten. Zum einen wird der Luftsauerstoff zur quantitativen Oxidation des Methan zu CO₂ und Wasser benötigt, zum anderen erlaubt es uns Abgas im Konzentrationsbereich von 0,5-1,0 Vol.-% CH₄ mit dieser Anlage autotherm zu betreiben. Das Abluftgemisch tritt über eine Kammer ein und wird beim Durchströmen der Keramik aufgeheizt, im Oxidationsraum erfolgt bei Temperaturen von ca. 830°C die Reaktion der Kohlenwasserstoffe zu CO₂ und H₂O. Danach durchströmt das gereinigte Abgas den Wärmespeicher der zweiten Kammer, wird dort abgekühlt und verlässt die RNV-Anlage in Richtung Kamin. Nach einer Zeit von ca. 90 - 120 sec wird die Strömungsrichtung in der Anlage durch pneumatisch betätigte Ventile umgekehrt. Die zuvor mit Abgas beaufschlagte Kammer wird nun mit Reingas, die vorher mit Reingas beaufschlagte Kammer mit Abgas durchströmt.

Die Oxidationstemperatur im Brennraum wird einerseits durch Verdünnung mit Luft und bei zu niedriger CH₄-Fracht mit Hilfe eines Elektroheizregisters geregelt. Enthält das Rohgas bereits eine ausreichende Menge an Schadstoffen, genügt die bei der Oxidation freiwerdende Energie für einen autothermen Betrieb.

Dem mit Methan beladenen Abluftstrom aus der Membranabscheidung wird konzentrationsabhängig Frischluft beigemischt, um auch mit dem im Maximalbetrieb herrschenden Methanschlupf autotherm und ohne Energieauskopplung zu fahren. Die zur Einhaltung der Konzentrationswerte erforderliche Frischluft wird durch einen geregelten Ventilator dem Abgas beigemischt und zur RNV-Anlage gefördert.

Um eine Verschmutzung durch auskondensierende Schadstoffe zu vermeiden wird die RNV-Anlage mit Frischluft angefahren und aufgeheizt. Erst nach Erreichen der Betriebstemperatur erfolgt die Freigabe für den Betrieb mit Abluft.

Während der Aufheizzeit der RNV-Anlage sowie bei eventuellen Funktionsstörungen an der RNV-Anlage müssen die Abgase aus der Membranfiltration an der RNV-Anlage vorbeigeleitet werden.

8 Hilfseinrichtungen

8.1 Versorgung mit Frischwasser

Für den Betrieb der Membranaufbereitungsanlage wird dann regelmäßig Frischwasser benötigt, wenn das in der optionalen Biogaswäsche enthaltene Wasser zu ersetzen ist.

8.2 Wasserkühlung

Eine Kaltwassersatz sorgt für die Prozesskühlung mehrerer Anlagen im Aufbereitungssystem. Das System besteht aus einer Wasserkühlmaschine und dem Verteilungssystem für die Prozesskühlung der Biogas-Kühlsysteme. Das Kühlwasser enthält 40 % Ethylenglykol.

8.3 Druckluftzufuhr

Es wird Druckluft mit einem Druck von 10 bar(g) benötigt (ISO8573-1:2010 Klasse 2/3/1), ein Druckluftanschluss wird bauseits gestellt. Innerhalb des Containers und der äußeren Aufbereitungsanlage wird die Druckluft druckgeregelt (Wartungseinheit) und über ein Rohrleitungssystem verteilt. Die Verteilung der Druckluft wird für Anlagendienste (Prozessluft) und messtechnische Verbraucher (Messluft) benötigt. Das System besteht aus der erforderlichen Verrohrung und Instrumentierung.

8.4 Biogas- und Biomethan-Analysator für den Aufbereitungsprozess

Die Biogasqualität wird auf ihren Gehalt an verschiedenen Gaskomponenten (z.B. Methan (CH₄), Kohlendioxid (CO₂), Sauerstoff (O₂), Wasserstoff (H₂) und Schwefelwasserstoff (H₂S)) analysiert. Die Messungen finden periodisch an verschiedenen Messpunkten statt. Die Werte werden im Anlagenleitsystem angezeigt und aufgezeichnet. Dies ermöglicht eine genaue Überwachung des Aufbereitungsprozesses und eine schnelle Erkennung von Unregelmäßigkeiten, so dass frühzeitig Maßnahmen ergriffen werden können. Zur Prozesssteuerung wird das Biogas vor der Membrananlage gemessen.

Die Biomethanqualität wird mit einem Kalorimeter analysiert. Kalorienwert und Wobbe-Index werden kontinuierlich überwacht.

Außerdem werden der Biogasvolumenstrom und der Biomethanvolumenstrom überwacht.

8.5 Lüftung inkl. Raumlufüberwachung

Alle Containereinheiten sind mit einem Belüftungssystem ausgestattet, das eine sichere Arbeitsumgebung gewährleistet. Zusätzlich sind alle Abteile mit Raumlufüberwachungssystemen für CO₂ und CH₄ ausgestattet, die mit akustischen (Hupe) und optischen Signalen (Blitzlicht) verbunden sind. Zusätzlich zur Raumlufüberwachung sind Rauchmelder installiert, die die Sicherheitseinrichtungen ergänzen.