



BIOMETAN REGIONER

Introduktion til produktion af biometan fra biogas

Indhold

1.	Introduktion til gasseparation	3
2.	Introduktion til og oversigt over opgraderings teknologi	4
3.1.	Generelt om gas opgradering	4
3.2.	Generelt om gassammensætning	5
3.	Teknologier til afsvovling af biogas	6
3.1.	Generelle forhold	6
3.2.	In-situ afsvovling: Sulfid udfældning ved kemisk binding	6
3.3.	Biologisk afsvovling: In situ og skrubning i filter	7
3.4.	Kemisk og oxidativ skrubning	8
3.5.	Optagelse på metaloxider eller aktivt kul	9
4.	Teknologier til produktion af biometan	10
4.1.	Generelle forhold	10
4.2.	Fysisk optagelse af kultveilte: Trykstyret vandskrubning	10
4.3.	Fysisk kemisk optagelse i organisk væske	11
4.4.	Fysisk kemisk optagelse med aminer	11
4.5.	Kemisk binding i fast masse: Tryksvingsoptagelse (PSA)	12
4.6.	Membranbaseret filtrering: Gasgennemtrængning	13
4.7.	Sammenligning af de beskrevne teknologier	14
4.8.	Fjernelse af sporkomponenter, vand, ammoniak, siloxaner og partikler	16
5.	Fjernelse af metan fra affaldsgas	17
6.	Kilder	17
7.	Emmertsbühl Biogas/Biometan anlæg, Tyskland	21
8.	ZALAVÍZ WATERWORKS COMPANY, UNGARN	28
9.	BRUCK/LEITHA BIOGASANLÆG, ØSTRIG	33

1. Introduktion til gasseparation

Omdannelsen af biogas til biometan vil tilbyde klare fordele og muligheder ved nogle anaerobe (AD) biogasanlæg - både eksisterende og foreslåede. Kernen i denne vejledning er en gennemgang af de nuværende let tilgængelige teknologier, der tager rå biogas og beriger det til det punkt, hvor det nærmer sig rent metan, således at den kan anvendes i køretøjer som alternativ til komprimeret naturgas eller trykkes ind i naturgasnettet. Dette indledende afsnit behandler de tilfælde, hvor biometan produktion kan være hensigtsmæssig.

Den væsentligste fordel ved at producere biometan som et alternativ til standardmodellen for el og varmeproduktionen fra et kraftvarmeværk (CHP) er effektiviseringen af energianvendelsen. Der, hvor hele eller størstedelen af varmeproduktionen fra kraftvarmeværket anvendes effektivt, er argumentet for produktion af biometan væsentligt reduceret, fordi anvendelseseffektiviteten af energien i biogas her er høj. I tilfælde hvor lidt eller intet af varmen fra kraftvarmeværket kan afsættes, lige bortset fra varmebelastning på rådnetanken, er energianvendelsen kun mellem 30 og 40%. Til sammenligning har de mest moderne naturgas anlæg meget høje virkningsgrader, hvor der ved kondenserende drift på udstødscedler kan nås en total effektivitet på næsten 100 %.

Mange AD-anlæg er placeret på steder fjernt fra større varmebrugere, og det er slet ikke usædvanligt, at det er upraktisk eller ekstremt dyrt at etablere fjernvarmevarme-hovedledningen til de nærmeste varmekunder. Hvis disse brugere er beboelsesejendomme, udviser efterspørgslen efter varme ganske betydelig variation over året. Under sådanne omstændigheder bør muligheden for at konvertere hele eller dele af biogassen til biometan overvejes. At udnytte noget af den producerede biogas i en gasmotor til opvarmning af rådnetanken vil formentlig i de fleste tilfælde være fordelagtigt.

Der er dog væsentlige udfordringer i udviklingen af et gas-til-net-projekt, og disse bør indgå i meget tidlige overvejelser:

- Alle rensnings- og tilpumpnings-teknologier til gas-til-nettet er investerings- og driftstunge, og nogle omkostningselementer øges kun beskedent ved opskalering. Dette kan gøre mindre projekter uøkonomiske.
- Selv om rørføring af gas er betydeligt billigere i etablering end rørføring af fjernvarme, er der grænser for den økonomiske bæredygtighed med afstanden til gasnettet. Etableringsomkostningerne vil også afhænge af tilladelser til at krydse anden mands ejendom samt udnyttelsen af jorden og boniteten af jorden, der skal krydses. Fremføring langs veje vil være fordyrende med forøgede afstande og involvering af andre forsyningsselskaber.
- Gasnettet, gassen tilføres, skal kunne håndtere den givne mængde gas. Lavtryks gas net kan ligesom fjernvarmeanlæg have betydelige årstidsvariationer på forbrugssiden, og afsætningen kan ikke nødvendigvis tilpasses de produktion, der finder sted på biogasanlægget.

Brugen af "Biogas-biometan beregneren", udviklet under dette projekt, vil gøre det muligt at beregne de omtrentlige omkostninger i forbindelse med opgradering.

Placeringen, kapaciteten af og forbruget i det lokale gas net vil kunne fastlægges ved aftaler med relevante gas net udbydere.

Den følgende oversigt over teknologier er udført af projektpartneren Det Tekniske Universitet i Wien og giver en detaljeret vejledning om de nuværende teknologier.

2. Introduktion til og oversigt over opgraderings teknologi

3.1. Generelt om gas opgradering

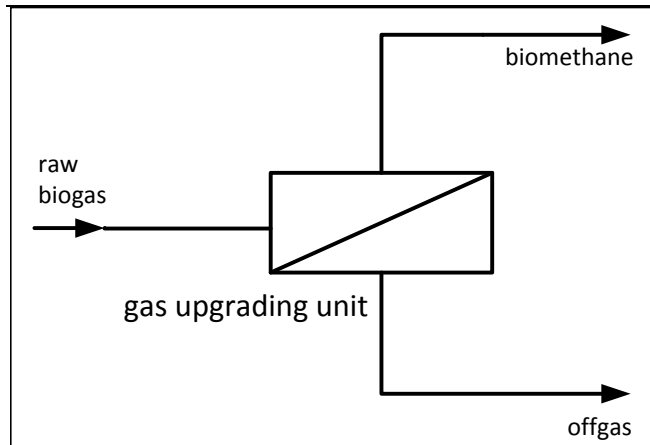
Biogas opgradering og produktion af biometan inkluderer avancerede processer til effektiv separation af de gasarter, biogas består af. Der findes i dag et større antal forskellige teknologier, der kan udskille metan af tilstrækkelig kvalitet til, at gassen kan udnyttes som brændstof til køretøjer eller kan tilpumpes naturgasnettet. Heraf er adskillige kommercielt tilgængelige og har vist sig at være teknisk og økonomisk gennemførlige. Herunder fortsætter den intensive forskning med det formål at optimere og videreudvikle disse teknologier samt at udvikle nye, forventeligt mere teknisk og økonomisk optimale teknologier til biogas opgradering. De forskellige teknologier har deres specifikke fordele og ulemper, og disse søges beskrevet med denne gennemgang. Valget af den økonomisk optimale teknologi er stærkt afhængigt af:

- kvaliteten og mængden af den rå biogas, der skal opgraderes
- den ønskede biometan kvalitet ved den endelige anvendelse
- drift af AD anlægget
- typer, sammenhænge af og variation i de anvendte substrater
- lokale forhold ved og på afsætningssiden af anlægget.

Valg af anlægstype skal foretages af planlægger og fremtidige ejer.

Denne rapport er udarbejdet som støtte og retningslinje i planlægningsfasen af et nyt biometan produktionsanlæg.

Biogas opgradering består i en separation af gasarter, hvor metan udskilles i en metan-rig produkt gasstrøm med en given specifikation. Afhængigt af sammensætningen af den rå biogas omfatter denne opgradering en udskillelse af kuldioxid, tørring af gassen, fjernelse af sporstoffer såsom ilt, kvælstof, svovlbrinte, ammoniak eller siloxaner samt kompression til det tryk, der er nødvendig for den videre gasanvendelse. Herved øges metankoncentration, brændværdi og Wobbe-indeks i den separerede metangas. Kravafhængigt kan der tilsættes lugtstoffer eller justeres til en given forlangt brændværdi, eksempelvis ved tilsats af propan. Figur 1 viser gasseparationen i enkel, skematisk form.



Figur 1: Grundlæggende driftsdiagram til biogas opgradering

Den rå biogas bliver grundlæggende opdelt i to gasstrømme: en metan-rig brændbar del og en kuldioxidrig affaldsgas del. Da separation ikke kan være perfekt, indeholder affaldsgas strømmen stadig en mindre mængde metan, afhængig af den anvendte teknologi. Håndteringen af affaldsgassen kan afhænge af:

- Hvorvidt det er lovligt at slippe denne gasstrøm ubehandlet ud i omgivelserne
- Koncentrationen af metan
- mængden af metan i affaldsgas i forhold til mængden af metan i den rå biogas
- anlæggets beliggenhed.

Der findes en række teknologier til behandling af affaldsgassen ved iltning, se kapitel 5.

3.2. Generelt om gassammensætning

Følgende tabel indeholder typiske gassammensætninger af biogas og skraldgas og disse værdier sammenlignet med dansk naturgas. Kvaliteten af naturgas fra Nordsøen er høj i forhold til eksempelvis Hollandsk og Russisk kvalitet.

Parameter	Biogas	Skraldgas	Naturgas (Dansk)
Metan [mængde %]	60-70	35-65	89
Andre karbonhydrider [mængde %]	0	0	9,4
Brint [mængde %]	0	0-3	0
Kuldioxid [mængde %]	30-40	15-50	0,67
Kvælstof [mængde %]	Op til 1	5-40	0,28
Ilt [mængde %]	Op til 0,5	0-5	0
Svovlbrinte [ppm. volumen]	0-4000	0-100	2,9
Ammoniak [ppm. volumen]	Op til 100	Op til 5	0
Laveste brændværdi [kWh/m ³ (Standard temperatur og -tryk)]	6,5	4,4	11,0

3. Teknologier til afsvovling af biogas

3.1. Generelle forhold

For affaldsgassen er kuldioxid den gasart, der er mest forurenende, da den typisk udgør 30 til 40 % af den producerede gasmængde. Svovlbrinte udgør typisk under 0,5 % af mængden, men effektiv fjernelse af svovlbrinte kan være af afgørende betydning for de teknologiske og økonomiske muligheder for opgraderingsanlæggets funktion. Svovlbrinte indholdet i biogas kan variere typisk fra ppm til promille-koncentrationer, og da det er en sur og ætsende gas, kræves den typisk fjernet fra rågassen forud for den egentlige gasseparation uanset metode og anvendelse af produktet.

Der findes en række velfungerende systemer til afsvovling af biogas. Valg af metode kan afhænge af:

- Udrådningssystemets konstruktion
- Krav til effektivitet
- Krav til teknisk stabilitet
- Økonomiske forhold.

De vigtigste metoder er præsenteret i det følgende afsnit. Det skal pointeres, at hvor biometan skal tilpumpes naturgasnet, er der høje krav til gassens renhed og energiindhold.

3.2. In-situ afsvovling: Sulfid udfældning ved kemisk binding

Tilsætningen af opløste metaller såsom jernklorid eller jernsulfat til reaktor eller udligningstank / blandetank før udrådningen resulterer i en udfældning af biomassens svovlbrinteindhold i form af hovedsageligt tungt uopløseligt jernsulfid salt i biomassen. Sulfidsaltene passerer ud af reaktoren i blanding med biomassen. Endvidere er det fundet, at en reduktion af koncentrationen af fri svovlbrinte indholdet i biomassen kan forbedre miljøet for bakterierne således, at de er i stand til at omsætte en større del af det organiske stof til biogas, herunder metan.

Kemisk binding af sulfid er investeringslet men økonomisk driftstung. Eksisterende biogasanlæg kan uden videre etablere og drive sådanne anlæg, og metoden anvendes i mange sammenhænge som sikkerhedsfunktion for andre typer afsvovlingsanlæg.

Metoden bør under alle omstændigheder betragtes som grov, da den kræver en effektiv opblanding i og reaktion med svovlbrinte i biomassen. Egentlig regulering af rensning er næppe mulig. Teknikken anvendes typisk i rådnetanke, der leverer gas med høje svovlbrinte koncentrationer og som en første foranstaltning sammen med efterfølgende behandling eller i tilfælde, hvor kontrolbehovet er beskedent.

Det kan tilføjes, at der er gode erfaringer med anvendelse af jernslam fra vandværker til afsvovling. Denne masse er dog vanskelig at håndtere og reagerer betydeligt langsommere end jernklorid.

Desuden har der i nogle sammenhænge vist sig tegn på, at tilsats af jern til biogasanlæg kan have en processtabiliserende effekt og således formentlig medvirke til en forbedret biogasproduktion.

Det bør pointeres, at jernklorid er stærkt tærende, hvorfor der skal tages hensyn til beton- og sortstålkonstruktioner. Der har også været indikationer af, at lejer i pumper tager skade af jernklorid, formentlig af kloriderne. Endelig kan klorid i nogle sammenhænge substituere brint under dannelsen af metan, og halometaner er endog meget tærende.

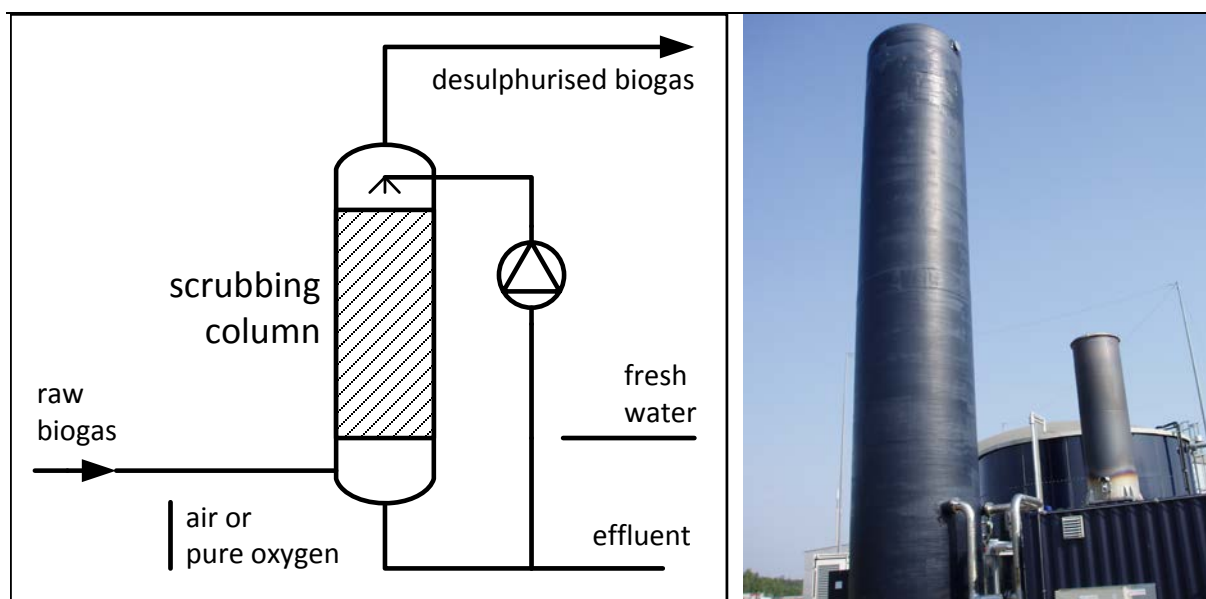
3.3. Biologisk afsvovling: In situ og skrubning i filter

Svovlbrinte kan fjernes ved iltning med kemo-autotrofe mikroorganismer af slægterne Thiobacillus og Sulfolobus. Denne iltning kræver en vis mængde ilt, der tilsættes den biologiske afsvovling med en tilsvarende mængde luft. Svovlbrinte reduktionen finder sted ved iltning af svovlbrinte til krystallinsk svovl, der ikke kan reduceres til svovlbrinte.

Processen kan finde sted i rådnetanken ved bakterier, der allerede findes naturligt i substrat, og selve processen finder da sted i gasfasen over det gærende substrat, gerne i væskeoverflade med lidt svømmelag og på tankvæg. Opbygningen af anlægget er simpel, da der blot skal blæses en given mængde luft ind i rådnetankens gasfase, hvorefter bakterierne ilter svovlbrinte, hovedsagelig til elementært svovl, S_8 . Er der overskud af ilt, kan elementært svovl iltes videre til svovlsyring og / eller svovlsyre, der imidlertid kan reduceres til svovlbrinte i væsken i rådnetanken. Ilttingsprodukterne svovlsyring og svovlsyre er stærkt tærende, også under iltfrie forhold, hvorfor gassen fra sådan et anlæg ikke bør komme i berøring med beton eller sort stål.

Alternativt anvendes en gasskrubber som et behandlingstrin på gasnettet, typisk placeret mellem rådnetank(e) og gaslager. Gasskrubberen er udformet som et biologisk filter, et lodretstående tankanlæg med et plastfilter i. Nederst i filteret er en væskesump og øverst et system af spraydyser. Sumpen tilføres kunstgødning eller filtreret, udrådet masse fra biogasanlægget for at tilføre bakterierne de nødvendige næringssalte samt vand for at undgå hæmmende koncentrationer af stoffer i væsken. Der pumpes løbende væske fra sumpen via dyserne over filteret for at nære bakterierne. På filteret gror bakterier i en såkaldt biofilm, der typisk podes på filteret ved en mindre mængde filtreret, udrådet gylle. Foran filteret blandes biogas med luft. Bandingen føres ind i bunden af filteret og modstrøms vaskevand op gennem filteret. Bakterierne på filteret ilter svovlbrinte med molekylært ilt under dannelse af hovedsagelig elementært svovl, S_8 . Er der overskud af ilt, kan elementært svovl iltes videre til svovlsyring og / eller svovlsyre, der imidlertid kan reduceres til svovlbrinte i anlægget. Svovlprodukterne tømmes løbende ud af filterets sump i blanding med væske fra sumpen.

Investeringsbehovet til biologiske skrubbere er moderat, og driftsomkostningerne er lave. Denne teknologi er vidt udbredt, og anlæggets tilgængelighed er høj.



Figur 2: Arbejdsdiagram af et biologisk skrubbeanlæg til afsvovling af rå biogas; billede af den biologiske skrubber på biogasanlægget Bruck / Leitha, Østrig med en rå biogas kapacitet på 800m³ / h (Kilde: Wiens Tekniske Universitet, Biogas Bruck GmbH)

Biologiske skrubbere er teknisk simple anlæg, fungerer effektivt og processen er stabil. Kemaliebehovet begrænser sig til tilsats af næringssalte og spormetaller. Typisk renses til et niveau for svovlbrinte på 100 til 200 ppm, da rensning til lavere koncentrationer kan medvirke til dannelse af de nævnte syrer, der har tendens til at udfælde på filteret som metalsalte. Der er eksempler på, at sådanne filtre sætter til eller bryder ned under vægten af metalsaltene.

Imidlertid har langtidserfaringer på et biogas opgraderingsanlæg i Østrig vist, at metoden ikke er tilstrækkelig til at sikre den nødvendige gaskvalitet for tilpumpning til naturgas nettet. Det biologiske system er i stand til at fjerne selv meget store mængder af svovlbrinte fra biogas, men systemet reagerer langsomt på skiftende koncentrationer af svovlbrinte i gassen. Teknologien kan derfor ikke stå alene, hvis den producerede biogas udviser store udsving i svovlbrinte koncentrationen.

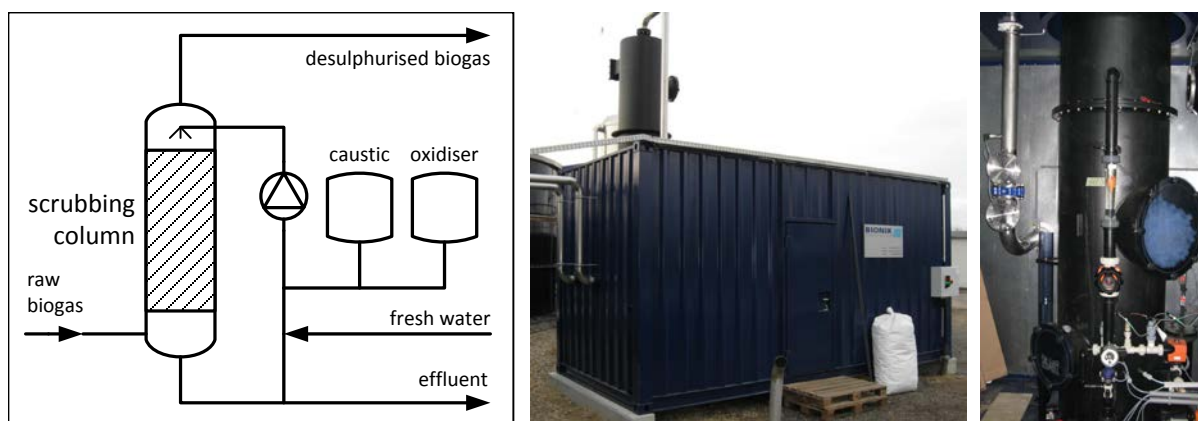
3.4. Kemisk og oxidativ skrubning

Optagelse af svovlbrinte i basiske væsker er en af de ældste metoder til gas afsvovling. Vaskerne har typisk samme principielle konstruktion som ovennævnte biologiske vasker. Typisk anvendes natrium hydroxid, NaOH som kemikalium til at forøge pH værdien i væsken i vaskeren, således at svovlbrinte i gassen ioniseres under dannelse af HS⁻ og S²⁻, der optages i væsken. Ved processen optages desuden meget store mængder CO₂, gerne adskillige gange mere CO₂ end H₂S. For at sikre effektiv funktion skal pH-værdien styres omhyggeligt ved løbende tilsats af NaOH.

For at minimere optagelsen af CO₂ kan reduceres ved at tilsætte et iltningmiddel, der ilter HS⁻ og S²⁻ til elementært svovl, svovlsyrling og eller svovlsyre. Ved iltning til syrerne kræves imidlertid tilsats af yderligere base for at holde pH høj. Hermed behøver den CO₂ mættede væske mindre tilsats af base, hvorfor den kan anvendes igennem længere tid og således optage svovlbrinte selektivt. Normalt anvendes brintoverilte som iltmiddel. Denne teknik viser en gunstig kontrolmulighed og stabil drift, selv under store udsving i svovlbrinte koncentrationen og -mængden i den rå biogas. Et indhold af svovlbrinten så lavt som 5 ppm kan nås i en stabil drift. Normalt er den mest økonomiske drift at

kontrollere indholdet af den rensede gas til at være omkring 50 ppm; den resterende svovlbrinte fjernes ved hjælp af optagelse på metaloxider.

Teknologien kræver omfattende processtyring og viden om håndtering af de anvendte kemiske stoffer. Det er blevet rapporteret, at de specifikke omkostninger i denne teknologi er yderst konkurrencedygtige sammenlignet med andre eksisterende afsvovlingsteknologier. Denne teknologi bør tages i betragtning, hvis der forventes høje eller stærkt svingende svovlbrinteindhold i den producerede biogas. Imidlertid er det også erfaret, at vask med base uden brug af iltningsmiddel giver et meget højt baseforbrug på grund af optagelse af CO₂, hvorfor driftsomkostningerne bliver meget høje.



Figur 3: Arbejdsdiagram af et kemisk-oxidativ skrubningsanlæg til rå biogas afsvovling; billeder af den kemisk-oxidative skrubber på biogasanlægget Bruck / Leitha, Østrig med en rå biogas kapacitet på 300m³ / h (Kilde: Vienna University of Technology, Biogas Bruck GmbH)

3.5. Optagelse på metaloxider eller aktivt kul

Svovlbrinte kan optages på overfladen af metaloxider såsom jernoxid, zinkoxid og kobberoxid eller på aktivt kul og effektivt fjernes fra biogassen.

Anlæggene består typisk af et antal parallelle filtersektioner med metaloxid eller aktivt kul, hvor biogassen ledes igennem. Det er vist, at filteret med fordel kan holdes fugtigt.

Svovlbrinte reagerer kemisk med det iltede metal, dels under dannelse af metalsulfid dels ved en katalytisk reaktion, hvor svovlbrinte iltes til forskellige svovlkomponenter samtidig med at metallet reduceres. Ved processen ender brint fra svovlbrinten som vand. Når filteret er mættet med svovlbelægninger og / eller metaloxiderne er reduceret, udskiftes filteret. Filteret vil typisk blive regenereret ved en iltningsproces, hvor svovl iltes til svovlsyring og / eller svovlsyre, udvaskes og filteret kan benyttes igen.

Optagelse af svovlbrinte på aktivt kul udføres sædvanligvis med en lille tilsætning af ilt med henblik på at ilte den optagede svovlbrinte til elementært svovl med videre og dermed binde den stærkere til overfladen. Hvis ilt dosering ikke er acceptabelt, benyttes gerne en speciel imprægneret aktivt kul.

Denne afsvovlingsteknik er yderst effektiv med deraf følgende koncentrationer på mindre end 1 ppm. Selv om investeringsomkostningerne er relativt lave ved denne teknologi, så er de samlede

specifikke omkostninger meget høje med det resultat, at denne metode typisk kun anvendes til afsluttende behandling ved en slutpolering, og da typisk med et svovlbrinteindhold mindre end 150 ppm svovlbrinte på tilgangssiden.

4. Teknologier til produktion af biometan

4.1. Generelle forhold

Der findes i dag en række kommercielle teknologier til opgradering af biogas. Opgradering kan inkludere:

- tørring af den rå biogas
- fjernelse af kuldioxid
- fjernelse af sporgasser.

Herved forøges metankoncentrationen og dermed brændværdien i produktgassen, mens kuldioxid og sporgasser passerer videre som affaldsgas, se kapitel 4.8.

Gasseparationen kan finde sted i:

- en skrubber over en væskefase, der absorberer de reaktive gasarter
- ved reaktion på en fast masse
- gennem et filter, der tilbageholder tunge gasarter.

Det bør noteres, at metan ikke er reaktiv samt at kultveilte og svovlbrinte er reaktive og sure gasarter.

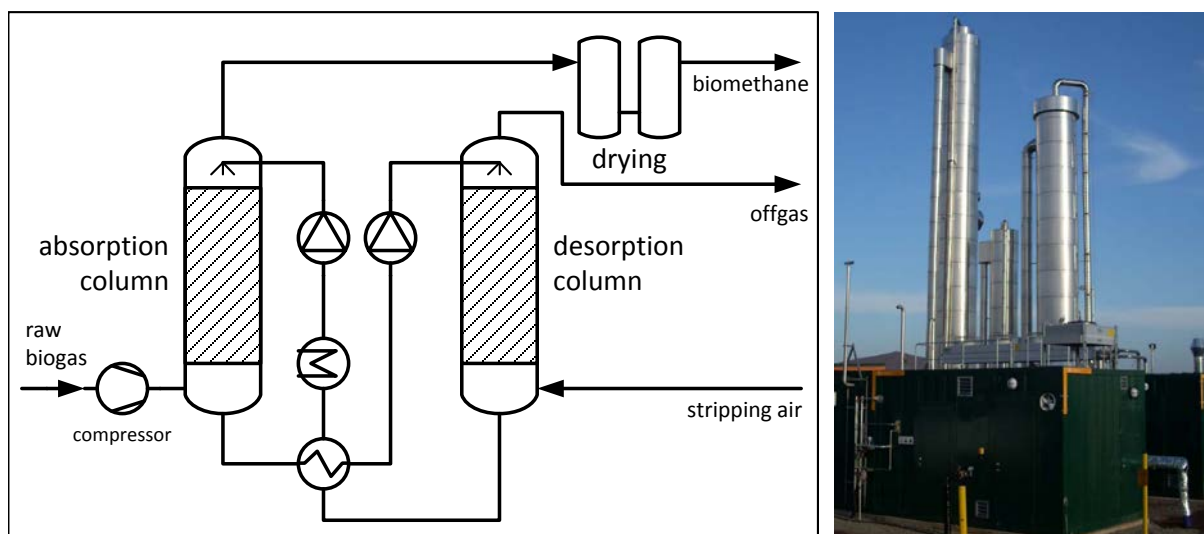
4.2. Fysisk optagelse af kultveilte: Trykstyret vandskrubning

Trykvandsskrubberen består af et tryksat kammer udformet som en skrubber i lighed med ovenfor omtalte skrubber. Biogassen trykkes ind i bunden af skrubberen og aflastes løbende i toppen som rensat gas. Sidestillet med trykvandsskrubberen er et regenereringsanlæg til stripping af de gasarter, der er optaget i vandet i trykvandsskrubberen. I denne vasker udluftes de optagne gasarter, hvorved vandet regenereres og kan trykkes tilbage i skrubberen.

De optagede gasarter, kultveilte og svovlbrinte er fysisk bundet til vandvæsken. Kuldioxid har en helt betragteligt højere opløselighed i vand end metan specielt ved lavere temperaturer og højere tryk. Foruden kuldioxid kan svovlbrinte og ammoniak også optages i trykvandet. Vandet fra skrubberen recirkuleres løbende over stripperen, hvor trykket reduceres og hvor der tilledes betydelige mængder luft, og herved bliver størstedelen gassen, der er opløst i vandet, frigivet. Da den frigivne gas hovedsagelig indeholder kuldioxid, men dog også en beskedne mængde metan samt eventuelt svovlbrinte, kan der være behov for yderligere rensning / iltning af gassen.

Ulempen ved denne fremgangsmåde er, at luft-komponenterne ilt og kvælstof opløses i vandet under regenereringen i stripperen, transporteres ind i trykvandsskrubberen, hvor en del passerer til den opgraderede biometan gasstrøm. Derfor indeholder biometan produceret med denne teknik

altid ilt og kvælstof. Da den producerede biogas strøm er mættet med vand, er det sidste trin i opgraderingen typisk gastørring, for eksempel ved anvendelse af glykol skrubning.



Figur 4: Arbejdsdiagram af en typisk biogas opgraderingsenhed, som anvender trykvandsskrubning. Billede viser opgraderingsanlægget Könnern, Tyskland med en behandlingskapacitet på 1250m³ / h (Kilde: Malmberg)

4.3. Fysisk kemisk optagelse i organisk væske

Meget lig trykvandsskrubning benytter denne teknologi en organisk væske, for eksempel polyethylen glykol, i stedet for vand. Kuldioxid har større opløselighed i sådan en væske end i vand. Som følge heraf kan der med denne teknologi opnås meget høj behandlingskapacitet, alt andet lige. Eksempler på kommercielle produkter, som benytter fysisk kemisk skrubning med organiske væsker er Genosorb[®], Selexol[®], Sepasolv[®], Rektisol[®] and Purisol[®].

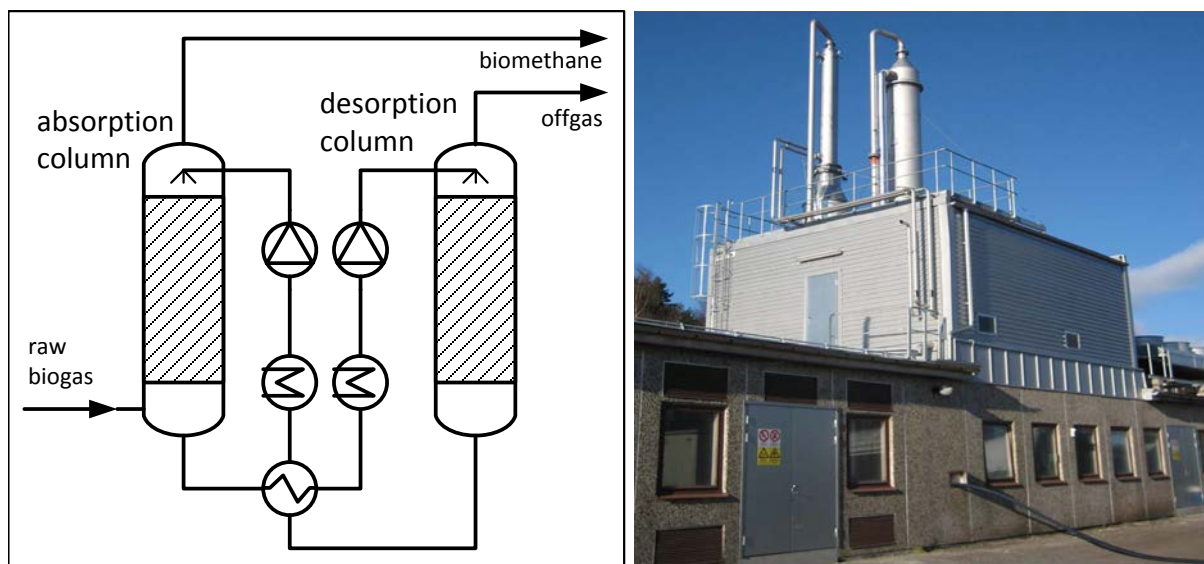
4.4. Fysisk kemisk optagelse med aminer

Denne type anlæg svarer i hovedtryk til ovennævnte tryksatte vaskerianlæg i sin konstruktion, altså med en vaskerisektion og en regenereringssektion. Fysisk kemisk optagelse med aminer er kendetegnet ved en fysisk optagelse af reaktive gasarter i en væskefase efterfulgt af en kemisk reaktion mellem væskefasens komponenter og den optagede gas. Hermed opnås en høj kapacitet i væskefasen, og gassernes binding til væskefasen er betydeligt mere stabil. Herved forøges anlæggets effektivitet alt andet lige. Der benyttes typisk vandige opløsninger af Monoethanolamin MEA, Diethanolamin DEA og Methyldiethanolamin MDEA i sådanne anlæg.

Den kemiske reaktion er stærkt selektiv, og mængden af metan, der optages i væsken, er også meget lav. Hermed opnås et helt beskedent metanspild. På grund af den høje reaktivitet af især kuldioxid på aminerne, kan driftstrykket af amin skrubber holdes væsentligt lavere end på ovennævnte skrubbersystemer.

Amin skrubberianlæg drives normalt på trykket i den tilførte biogas, og således er et kompressortrin unødvendig. Den effektive binding af gas til amin-opløsningen modsvarer i sagens natur af en vanskelig afgivelse af gassen i den sektion, hvor amin-opløsningen regenereres. Skrubbevæsker

kræver opvarmning for at afgive de bundne gasarter, og væsken opvarmes til op mod 160°C under regenereringen, dog afhængigt af den valgte teknik. Herved frigives kuldioxid, der aflastes fra regenereringsanlægget, normalt som en næsten ren kultveilte. Der er løbende behov for tilsats af vand og amin, da der tabes væske til opgraderet metan og under regenereringen. Rester af svovlbrinte i den tilførte gas vil også blive optaget, men er vanskeligere at drive af i regenereringen. Derfor er det tilrådeligt at fjerne denne komponent effektivt foran amin skrubberen.

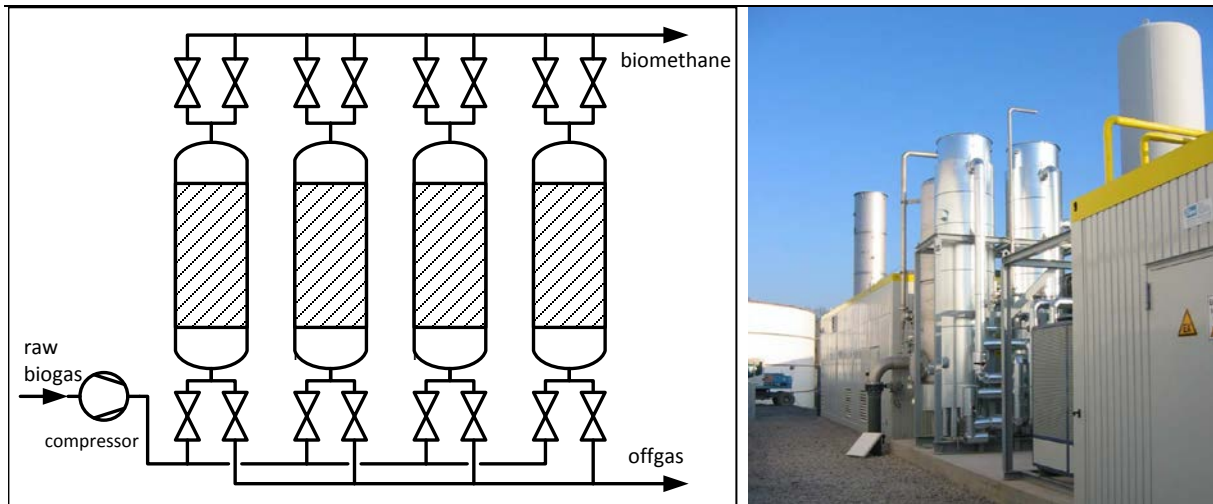


Figur 5: Arbejdsdiagram af en typisk biogas opgraderingsenhed, som anvender aminoskrubning; billede af opgraderingsanlægget Göteborg, Sverige med en gaskapacitet 1.600m³ / h (Kilde: Cirmac)

4.5. Kemisk binding i fast masse: Tryksvingsoptagelse (PSA)

Separation af gas ved hjælp af optagelse i en fast masse er baseret på de forskellige gaskomponenters forskellige adsorptionsegenskaber i den faste masse under forhøjet tryk. Anlæggene er gerne udformet som et kompressoranlæg, der faseforskudt trykker den forbehandlede biogas til et antal parallelle adsorptionskolonner, hvorfra opgraderet biometan henholdsvis affaldsgas forlader kolonnerne i adskilte rørføringer. Anlæg kan være opbygget således, at affaldsgas behandles i et sekundært sæt adsorptionskolonner for at forøge genvindingen af metan.

Sædvanligvis anvendes kolonner af forskellige typer af aktivt kul eller molekylsigter / zeolitter som adsorberende materiale. Disse materialer adsorberer under tryk selektivt kuldioxid og efterlader forøgede koncentrationer af metan i gasfasen. Efter adsorptionen ved højt tryk aflastes først den metanholdige gasfase og dernæst den adsorberede gas med styret reduktion af trykket i kolonnen. Kolonnen regenereres ved vask med skylning med samme gas, som tilføres anlægget. Herefter tilføres igen komprimeret gas og forløbet gentager sig. Affaldsgas kan ledes til en behandlingsenhed for affaldsgas eller ledes direkte ud i atmosfæren afhængigt af lokale krav. Vand og svovlbrinteindholdet i gassen skader den adsorberende masse og skal fjernes effektivt foran kolonnerne.



Figur 6: Arbejdsdiagram af en typisk biogas opgraderingsenhed som benytter tryksvingsoptagelse; billede af opgraderingsanlægget Mühlacker, Tyskland med en gaskapacitet på 1.000m³ / time (Kilde: Schmack CARBOTECH)

4.6. Membranteknologi: Gasfiltrering

Membraner til biogas opgradering drives ved etablering af et tryk på gassens tilgangsside, der driver givne gasarter igennem membranen. Membranen er lavet af materialer, der udviser én af følgende to funktioner:

- Har en porestørrelse, der kun tillader molekyler under en given størrelse at trænge igennem, større molekyler tilbageholdes
- Har en membran-kemisk funktion, der binder givne molekyler på membranfladen, hvorefter disse så at sige springer fra bindingssted til bindingssted gennem membranen for at blive frigivet på membranens anden side

Nedenfor beskrives sidstnævnte. Til orientering er forskellen mellem de 2 typer alene et spørgsmål om, hvorvidt det er metan eller kultveilde, svovlbrinte og vand, der tilbageholdes af membranen.

Kemisk membranbaseret gasseparation medvirker til følgende detailfunktion:

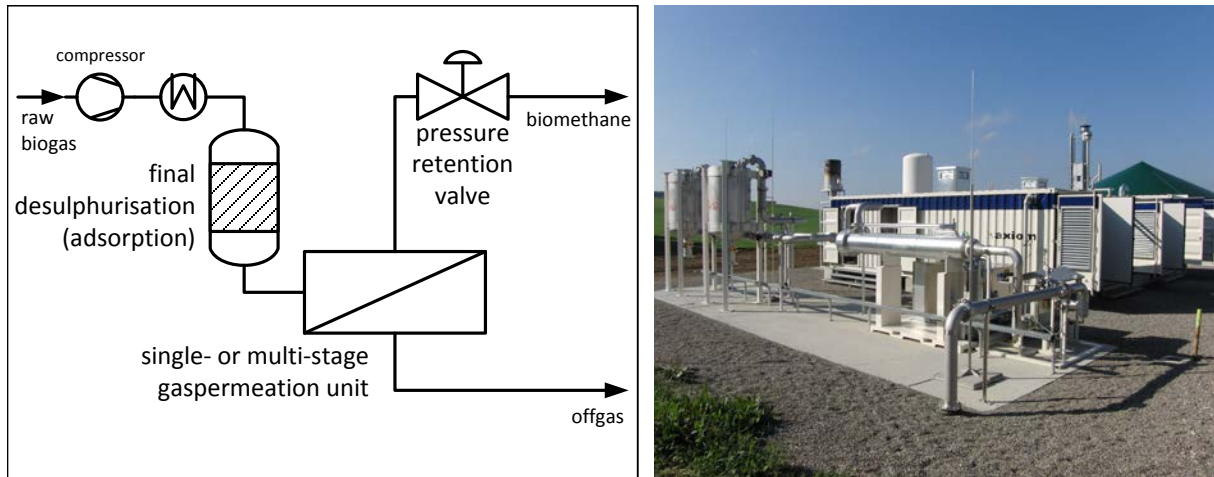
- kuldioxid, vand og ammoniak trænger let igennem membranen
- svovlbrinte, ilt og kvælstof trænger til en vis grad gennem membranen
- metan trænger kun i meget ringe udstrækning igennem membranen

Typiske kemiske membraner er fremstillet af polymere materialer såsom polysulfon, polyimid eller polydimethylsiloxan. Disse materialer udviser netop en gunstig udskillelsesgrad for metan / kuldioxid kombineret med en rimelig robusthed overfor sporgasser i den tilførte gas.

Anlæggene består generelt af kompressoranlæg, køle-tørresektion, opvarmnings- og svovlrense sektion med metaloxider samt filtersektion. Filtersektionen kan være opbygget med flere sektioner i serie for at maksimere metan-tilbageholdelsen. For at opnå et kompakt design benyttes typisk et

antal parallelle moduler samt membraner i form af hule fibre, der har en meget beskedne diameter og et højt overflade-volumen forhold.

Anlæggets kompressorfunktion styres normalt ved et konstant driftstryk på tryksiden af membranerne, hvilket medvirker til at opnå en fast passagetid igennem anlægget. Herved sikres et givet krav til separation af gassen.



Figur 7: Arbejdsdiagram af en typisk biogas opgraderingsenhed, der anvender membranteknologi gas gennemtrængning; billede af opgraderingsanlægget Kisslegg, Tyskland med en gaskapacitet på 500 m³ / time (Kilde: AXIOM Angewandte Prozesstechnik)

Moderne opgraderingsanlæg med mere komplekse designs giver mulighed for meget høje metan genvindingsrater og relativt lavt energiforbrug. Der er bygget common-rail systemer, der har vist sig at være økonomisk fordelagtige.

4.7. Sammenligning af de beskrevne teknologier

Valget af separationsteknologi er afhængigt af en række faktorer, hvoraf følgende betragtes som særligt vigtige:

- Gasmængde
- Gassammensætning
- Kvalitetskrav til den koncentrerede bio-metan, herunder eventuelle myndighedskrav
- Genvindingsgrad for metan / tab af metan til affaldsgas
- Anlægsøkonomi
- Driftsøkonomi

Der kan næppe gives entydige svar på, hvornår en given teknologi bør foretrækkes. For at komme valget nærmere, er der i denne projektsammenhæng udviklet værktøjet "BiomethaneCalculator", der vil blive opdateret hvert år. Dette værktøj indeholder alle relevante opgraderingsteknologier, herunder opgraderingstrin og bringer en kvalificeret vurdering anlægsøkonomien.

Nedenstående tabel opsummerer de vigtigste parametre for de beskrevne teknologier på basis af den indledningsvist skitserede biogassammensætning. Værdier af visse parametre repræsenterer et gennemsnit af realiserede homologe anlægsdesigns eller verificerede data fra litteraturen. Det anvendte prisgrundlag er marts 2012.

Membranteknologi giver mulighed for bredt at tilpasse anlæggets udseende til de lokale forhold ved anvendelse af forskellige membrankonfigurationer, flere membrantrin og flere kompressorvarianter. Derfor er variationsbredden for de fleste parametre angivet. Første værdi svarer altid til det simple anlægsdesign, altså billigt anlæg og med lav metan genindvinding, medens det andet tal svarer til et anlæg med en effektiv metan-genvinding.

Parameter	Vand-skrubning	Organisk fysisk skrubning	Amin skrubning	PSA	Membran-teknologi
Forventet metan indhold i biometan [vol%]	95-99	95-99	>99	95-99	95-99
Effektiv indvinding af metan [%]	98	96	99.96	98	80-99,5
Metan tab [%]	2,0	4,0	0,04	2,0	20-0,5
Typisk aflastningstryk [bar(g)]	4-8	4-8	0	4-7	4-7
El kraftforbrug [kWh el/m ³ biometan]	0,46	0,49-0,67	0,27	0,46	0,25-0,43
Varmeforbrug og temperatur niveau	-	medium 70-80°C	høj 120-160°C	-	-
Krav til afsvovling	Afhængig af processen	Ja	Ja	Ja	ja
Kemikaliebehov	Antibegro-nings-middel, tørrings-middel	Organisk opløsnings-middel (ikke-farligt)	Amin opløsning (farligt, ætsende)	Aktivt kul (ikke-farligt affald)	
Belastning [%]	50-100	50-100	50-100	85-115	50-105
Antal referenceanlæg	Højt	Lavt	medium	Højt	Lavt
Gennemsnitlige investeringsomkostninger [€/ (m ³ /time) biometan]					
for 100m ³ /time biometan	10.100	9.500	9.500	10.400	7.300-7.600
for 250m ³ /time biometan	5.500	5.000	5.000	5.400	4.700-4.900
for 500m ³ /time biometan	3.500	3.500	3.500	3.700	3.500-3.700
Gns. driftsomkostninger [€/ct/m ³ biometan]					
for 100m ³ /time biometan	14	13,8	14,4	12,8	10,8-15,8
for 250m ³ /time biometan	10,3	10,2	12	10,1	7,7-11,6

for 500m ³ /time biometan	9,1	9,0	11,2	9,2	6,5-10,1
--------------------------------------	-----	-----	------	-----	----------

4.8. Fjernelse af sporkomponenter, vand, ammoniak, siloxaner og partikler

4.8.1. Generelle forhold

Biogas er mættet med vanddamp og vandopløselige gasarter og har et vist indhold af partikler og salte, når den forlader rådnetanken. Vanddampen vil typisk kondensere undervejs igennem gassystemet, da temperaturen i rådnetanken oftest er højere end omgivelsernes temperatur. Tilførsel af atmosfærisk luft til rensning for svovlbrinte kan medvirke til, at der er svovloxider i kondensatet. Disse er stærkt korrosive.

4.8.2. Udskillelse af vand

Vand udskilles / kondenseres typisk ved en eller en kombination af følgende forhold / teknologier:

- forøget gstryk
- reduceret temperaturen ved omgivelsernes temperatur eller eksempelvis isvandskøling
- blæserkøling eller kompressorbaseret køling
- skrubning med glykol
- adsorbering på silikater, aktivt kul eller molekulære sigter (zeolitter).

Sidstnævnte metode vil normalt ikke benyttes, da kolonnemassen kan tage skade vand.

4.8.3. Reduktion af ammoniak

Ammoniak udskilles normalt, når biogassen tørres ved afkøling på grund af høj vandopløselighed. Desuden vil de fleste teknologier til fjernelse af kuldioxid også fjerne ammoniak. Separate anlæg til ammoniakfjernelse er derfor normalt unødvendige.

4.8.4. Reduktion af siloxan

Siloxaner findes i produkter såsom deodoranter og shampooer og kan derfor findes i biogas fra rådnetanke på rensningsanlæg samt fra skraldgas. Disse stoffer er stærkt korrosive og kan skabe alvorlige problemer på stål, i gasmotorer og kedelanlæg. Siloxaner kan fjernes ved:

- Gaskøling
- Adsorption på aktivt kul, aktiveret aluminium eller kiselgel
- Optagelse i flydende blandinger af kulbrinte.

Kun undtagelsesvist ses anlæg til rensning for siloxan på biogasproducerende anlæg.

4.8.5. Reduktion af partikelindhold

Biogas indeholder som nævnt partikler, vanddamp og små dråber af kondenseret vand. I forbindelse med temperaturtab vil der ske kondensdannelse i gassen, og dette kondensat vil medvirke til reduktion af partikelindholdet i gassen.

Normalt passeret produceret gas igennem et separat gaslager, før den opgraderes eller udnyttes på anden vis, og i sådanne lagre sker der normalt også en betydelig kondensering, naturligvis klimaafhængigt.

Partikler i gas kan forårsage mekanisk slid i gas-motorer, turbiner og rørledninger. Gasrampen foran sådanne anlæg er derfor normalt forsynet med et gasfilter med en porestørrelse på 0.01µm - 1 µm.

Vanddråber kan forårsage trykstigninger i gasmotorers cylindre, og kan i værste fald medvirke til havari.

5. Fjernelse af metan fra affaldsgas

Som nævnt ovenfor indeholder den affaldsgas, der blev produceret under biogas opgraderingen, stadig en vis mængde metan afhængigt af effektiviteten med den givne teknologi. Da metan er en stærk drivhusgas, er det af vital betydning for den overordnede bæredygtighed i biometan produktionskæden at minimere udledningen af metan i atmosfæren. Herunder har en lang række lande fastsat krav til metanindhold i affaldsgas. Desuden er tab af metan med affaldsgas i nogen udstrækning medvirkende til at reducere indtægtsgrundlaget ved salg, hvilket alt andet lige reducerer rentabiliteten.

Det er givet, at krav til en høj effektivitet også hænger sammen med øgede investerings- og driftsomkostninger uanset valg af opgraderingsteknologi. Som følge heraf er det ofte ikke rentabelt at sikre en maksimal metanmængde til produktgas, hvorfor der normalt vil ses en mindre mængde, dog en lav koncentration af metan i affaldsgassen. Dette kan medvirke til krav til behandling af affaldsgassen før den ledes ud i omgivelserne.

Normalt er koncentrationen af metan i affaldsgassen så lavt, at gassen ikke er brændbar. Derfor er den mest almindelige teknik til fjernelse af metan indhold i affaldsgas en katalytisk iltning / forbrænding, hvorved der dannes varme. Varmemængden er normalt beskeden; dog kan den udnyttes til opvarmning af rådnetank eller i forbindelse med produktion af fjernvarme.

Der er kommerciel teknologi på dette område, der kan levere en stabil katalytisk forbrænding, selv ved et metan indhold så lavt som 3% i luftblanding. Tyndere affaldsgas og affaldsgas med relativt højt indhold af kultvejte kræver støttebrændsel. Effektiv koncentration af metan kan således medvirke til, at der er behov for at tilføre støttebrændsel til katalytisk behandling af affaldsgas.

Integrationen af opgraderingsanlægget til biometan i biogas produktionsanlægget, drift og vedligehold af opgraderingsanlæg samt anlægsøkonomi vil altid være de vigtigste størrelser ved etablering af denne type anlæg. Kun de mest effektive opgraderingsanlæg kan give en affaldsgas, der kan ledes direkte ud i omgivelserne.

6. Kilder

"Abschlussbericht Verbundprojekt Biogaseinspeisung, Band 4"
 Fraunhofer-Institut fuer Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT
 Urban, Lohmann, Girod; Germany, 2009
www.umsicht.fraunhofer.de

"Biogas upgrading technologies - developments and innovations"

IEA Bioenergy Task 37 - Energy from biogas and landfill gas

Peterson, Wellinger; Sweden & Switzerland, 2009

www.iea-biogas.net

"Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection"

IEA Bioenergy Task 37 - Energy from biogas and landfill gas

Persson, Jönsson, Wellinger; Sweden & Switzerland, 2006

www.iea-biogas.net

"Biogas upgrading and utilisation"

IEA Bioenergy Task 24 - Energy from biological conversion of organic waste

Lindberg, Wellinger; Sweden & Switzerland, 2006

www.iea-biogas.net

"Techniques for transformation of biogas to biomethane"

Biomass and Bioenergy 35 (2011) 1633-1645

Ryckebosch, Drouillon, Vervaeren; 2011

www.journals.elsevier.com/biomass-and-bioenergy

"Membrane biogas upgrading processes for the production of natural gas substitute"

Separation and Purification Technology 74 (2010) 83–92

Makaruk, Miltner, Harasek; 2010

www.journals.elsevier.com/separation-and-purification-technology

"Chemical-oxidative scrubbing for the removal of hydrogen sulphide from raw biogas: potentials and economics"

Water Science and Technology (2012) to be published

Miltner, Makaruk, Krischan, Harasek; 2012

www.iwaponline.com/wst/default.htm



BEST PRACTICE - KONKRET EKSEMPEL BIOMETAN PRODUKTION ANLÆG

EMMERTSBÜHL BIOGAS ANLÆG, TYSKLAND

ZALAVÍZ WATERWORKS SELSKAB, UNGARN

BRUCK/LEITHA BIOGAS ANLÆG, ØSTRIG



Vilkår for anvendelse/Ansvarsfraskrivelse

Disse konkrete eksempler indeholder oplysninger direkte fra virksomheder, som ikke kunne kontrolleres. Rapporteringen af kommercielle produkter, deres kilder eller deres anvendelse i forbindelse med materialet, som er indberettet i rapporten, skal ikke opfattes som faktiske eller stiltiende godkendelse af teknologi eller services. Alle billeder er gengivet med tilladelse af anlægget / virksomheden. Oplysningerne i denne rapport er givet i god tro, og partnerne i Bio-metan Regioner gør sig ingen forestillinger med hensyn til dets nøjagtighed eller indhold. Partnerne i Bio-metan Regionerne er ikke ansvarlige, for så vidt som loven tillader det, for eventuelle udgifter eller tab, herunder specielle, tilfældige, betingede eller lignende skader eller tab, der direkte eller indirekte opstår som et resultat af at bruge rapporten eller de foreliggende oplysninger i den.

De konkrete eksempler blev lavet efter undersøgelser / virksomhedsbesøg foretaget mellem 2011 og 2012, og informationerne er derfor kun relevante for driftsforhold på tidspunktet for besøget. Nogle anlæg kan nu være drevet på andre betingelser end dem, der er beskrevet i de konkrete eksempler.

Eneansvaret for indholdet af denne rapport ligger hos forfatterne. Det afspejler ikke nødvendigvis Den Europæiske Unions opfattelse. Hverken EACI (European Association for Creativity and Innovation) eller Europa-Kommissionen er ansvarlige for nogen som helst brug, der måtte blive gjort af oplysningerne heri.

Forfattere

Tim Patterson og Sandra Esteves University of Glamorgan	UoG	UK
Annegret Wolf, Heinz Kastenholz og Andreas Lotz Wirtschaftsförderungsgesellschaft des Landkreises Schwäbisch Hall mbH	WFG	DE
Martin Miltner og Michael Harasek Technical University of Vienna	TUV-ICE	AU

Eneansvaret for indholdet af denne rapport ligger hos forfatterne. Den afspejler ikke nødvendigvis Den Europæiske Unions opfattelse. Hverken EACI eller Europa-Kommissionen er ansvarlige for brug af oplysninger fra denne rapport.

7. Emmertsbühl Biogas/Biometan anlæg, Tyskland

INTRODUKTION / OVERSIGT

Biogas / biometan anlægget ligger på et landbrug i landsbyen Emmertsbühl, ca. 120 km nordøst for Stuttgart i Baden-Württemberg-regionen i det sydlige Tyskland. Landmanden og anlægsejeren havde i 2005 oprindeligt etableret et biogasanlæg på stedet med hvede som den primære råvare og biogas til udnyttelse i et kraftvarmeværk, selv om der ikke var nogen lokal bruger for overskydende varme, der blev produceret på anlægget. I 2008 undersøgte ejeren mulighederne for en udvidelse af anlægget og ønskede at øge udnyttelsen af den producerede biogas. I samarbejde med energiselskabet EnBW Vertrieb GmbH blev der udviklet en plan, hvorved anlægget kunne udvides, og biogasproduktionen ville være tilstrækkelig til at tillade en opgradering af biogas til biometan med tilførsel til det lokale gas net. Planen inkluderede tilførsel af biometan til lavtryks gasnettet og derfra via kompressoranlæg videre til medium trykgas net.

BESKRIVELSE AF ANLÆGGET

Energiafgrøder til biogasanlægget dyrkes på anlæggets ejers / driftslederens 500 hektar store gård. Den primære råvare er helsæds majs og hvede ensilage tilsat en lille mængde af græsensilage. Dele af markarealet, 70 ha, anvendes også til at dyrke vinterhvede og majs i rotation, som også anvendes som råmateriale. Den samlede råvareproduktion er omkring 20.000 tons ensilage om året.

Forbehandling

Forud for opbevaring hakkes energiafgrøderne til ca. 10 mm kornstørrelse. Energiafgrøderne lagres i dækkede ensilagekuler på stedet, og omkring 50 tons energiafgrøder tilsættes dagligt til et automatiseret faststofs anlæg, som tilføjer energiafgrøder til de primære rådnetanke. Overfladevand, som strømmer fra ensilagekulerne og biogasanlægget, opsamles i en underjordisk betontank, som leverer al nødvendig procesvand til biogasanlægget.



*Majs, vinterhvede og græs ensilage
energiafgrøder i kule*



Automatiseret faststofs anlæg

Anaerob udrådning

Den aktuelle konstruktion af anlægget har udviklet sig siden opførelsen af det oprindelige anlæg i 2005, og som sådan består det af en række tankkonstruktioner med forskellige volumener. Det oprindelige 2005 anlæg blev konstrueret af Lipp GmbH og er lavet af dobbeltvalset rustfrit stål

plader. En yderligere tank af beton blev senere tilføjet af Novatech GmbH. I 2010 blev en udvidelse af anlægget færdiggjort af ejeren og omfattede opførelsen af yderligere rådnetanke og substrat lagertanke af beton.

AD anlægget består derfor nu af 2 primære rådnetanke med et volumen på 1.600 m³ og 1.200 m³. De primære rådnetanke omfatter en ny betonbeholder bygget i 2010 af anlæggets ejer, og en betonbeholder bygget af Novatech GmbH før udvidelsen. Begge beholderes fundament er ca. 2,0 m under jordniveau for at reducere beholderhøjde over jord og dermed varmetabet. Den nyeste beholder er udstyret med en fleksibel dobbeltmembran gaslager top. Begge primære rådnetanke drives ved ca. 40-45°C og omrøres automatisk. Mikronæringsstoffer, herunder kobolt, mangan og selen, tilsættes dagligt til rådnetankene. Jernsalte tilsættes også for at reducere svovlbrinte indholdet i biogassen ved kemisk binding af svovl.

Hver primær rådnetank er efterfulgt af en sekundær rådnetank (1.100 m³ og 1.000 m³), som ligeledes opvarmes til 37-40°C og omrøres automatisk. De oprindelige tanke, som blev bygget af Lipp GmbH, anvendes nu som de sekundære rådnetanke.



Tre udviklingsfaser: (i) Bagerst til venstre, Lipp GmbH, (ii) forrest, selvbygget tank, (iii) Bagerst midtfor og til højre, Novatech GmbH



Stenfælde

Håndtering af udrådnede masse

Fra de sekundære rådnetanke ledes materialet over i de to substrat lagertanke af beton (2.000 m³ og 2.600 m³), som blev bygget i 2010. Disse er ikke opvarmet, men omfatter fleksible dobbelte membran overdækninger til lagring af gas til anlægget. Det anslås, at 2-3% af den samlede gasproduktion er produceret via biogas i selve substrat lagertankene. Samlet opholdstid inden for det samlede system (primær rådnetank - sekundær rådnetank - efterlagring) er cirka 130 dage.

Den udrådnede masse separeres i en fast og en flydende fraktion. Væskefraktionen lagres på stedet i en overdækket beholder før anvendelsen på landmandens jord som gødning. Den faste fraktion sælges til nabo landmændene, som anvender den som jordforbedringsmidler.

Biogas produktion og udnyttelse

Biogasanlægget producerer omkring 500 m³ biogas per time. Metan indholdet er mellem 52 - 54%. I det oprindelige anlæg (2005) blev biogassen udnyttet i 2 gasmotorer, henholdsvis 170 kW_{el} og 250 kW_{el}. Kølevarme herfra blev kun udnyttet til opvarmning af rådnetankene. For at maksimere biogasudnyttelsen, blev der etableret et biogas opgraderingsanlæg. Kraftvarmeværket eksisterer

fortsat og kan anvendes i tilfælde af, at opgraderingsanlægget er ude af drift, eksempelvis ved vedligeholdelse eller ved reparation.

Biogas opgraderingsanlægget blev udviklet og er drevet af EnBW Vertrieb GmbH. Virksomheden har indgået en aftale om leverance af en bestemt mængde og kvalitet biogas til en aftalt pris til opgraderingsanlægget. Opgraderingsanlægget blev leveret af Schmack Carbotech GmbH.



En af de 2 gasmotorer, som blev installeret som del af den oprindelige anlæg, og som nu kun bruges som back up



Oversigtsbillede over biogas opgraderingsanlægget, 2010

Rå biogas tilføres opgraderingsanlægget ved en 3 m³ gas buffertank. Biogassen komprimeres derefter til 6 bar, hvorefter gastemperaturen er cirka 86°C. Gassen afkøles fra 86°C til 46°C i 3 trin, en gas-mod-gas varmeveksler, en gas-mod-vand fra 46°C til 23°C og en gas mod isvand veksler fra 23°C til 6°C for at tørre gassen. Den tørre biogas opvarmes derefter til ca. 46°C modstrøms i første vekslertrin.

Herfra renses den tørrede biogas i et aktivt kulfilter til fjernelse af svovlbrinte ved et tryk på cirka 5 bar. H₂S udfældes på kulfilter som elementært svovl, og det skønnes, at filteret skal udskiftes omkring hvert andet år. For at maksimere effektiviteten tilsættes cirka 300 l luft / time foran filteret.

Efter afsvovling bliver gastemperaturen igen reduceret til 26°C, den optimale driftstemperatur for den anvendte CO₂ / CH₄ udskillesesteknologi; Tryksvingsoptagelse (PSA). Anlægget anvender 6 PSA beholdere / kolonner pakket med aktivt kul molekylsigte (Carbotech AC GmbH). Gassen føres ind i bund ved lidt over 5 bar ved lukket afgangsventil i toppen. Metan molekyler optages ikke i molekylsigten, men aflastes efterfølgende via afgangsventilen som en gas med et højt CH₄ indhold. CO₂ molekyler tilbageholdes i molekylsigten og frigives, når metan er aflastet. CO₂-rig gas forlader kolonnen fra bunden af beholderen. Anlægget består af 6 parallelle beholdere, der fungerer i 3 grupper af 2 beholdere. Således er to beholdere under tryk, to aflaster biometan ved fuldt tryk, og to er på trykaflastning for bundaflastning af CO₂-rig affaldsgas. På denne måde opnås en næsten kontinuerlig produktion af biometan.

Hver cyklus tager små 4 minutter. CH₄ indholdet af produktgassen overvåges på dette tidspunkt, og hvis kvaliteten på noget tidspunkt ligger under kravværdien, kan produktgassen helt eller delvist behandles igen gennem anlægget. Anlægget har kapacitet til at producere maksimum 320 m³ biometan i timen med en CH₄ indhold på 98%. Biogasproduktionen er cirka 500 m³ / time rå biogas eller cirka 260 til 270 m³ metan. Opgraderingsanlægget kan derfor ikke belastes fuldtud.

Biometan lagres i en buffertank ved et tryk på indtil 4,2 bar. Herfra bliver gassen odoriseret, kvaliteten målt ved anvendelse af en in-line gaskromatograf, som måler CH_4 , CO_2 , H_2S , H_2 og O_2 og mængden af afsat biometan måles.

Biometanen tilføres det lokale lavtryks gas net (500 til 800 millibar), som ejes og drives af EnBW Gasnetz GmbH, der leverer til cirka 300 slutbrugere, herunder private og industrielle kunder. Afstanden til lavtryksnetværket er ca. 800 m. Kunder på dette lavtrykssnet køber deres gas baseret på mængde og brændværdi. Brændværdien måles hvert 3. minut og afregnes ved en gennemsnitlig månedsbrændværdi. Da naturgas i gasnettet har en brændværdi på ca. 11,3 kWh / m³, og den tilførte biometan har maksimalt 10,85, fortyndes naturgas i lavtryksnettet med en lille mængde atmosfærisk luft til samme brændværdi. Normal praksis i Tyskland og andre steder ville være at øge biometanens brændværdi til naturgaskvalitet ved tilsætning af f-gas (LPG), for eksempel propan; den her anvendte metode sparer imidlertid indkøb af LPG.

En betydelig del af gassen i lavtryksnettet anvendes af et lille antal industrielle kunder. Når efterspørgslen fra disse kunder er reduceret (især i weekenden), har lavtryksnettet ikke tilstrækkelig kapacitet til at modtage al den gas, der leveres af Emmertsbühl anlægget. Derfor vendes gasstrømmen op mod medium-tryk (40 bar) nettet. Således komprimeres gassen fra lavtryksnettet op til 40 bar, og LPG tilsættes for at standardisere gassen med det, der allerede findes i medium-tryk nettet.



Rå biogas buffertank (forrest til venstre), 2 aktive kulfiltre (forrest til højre), biometan lagertank (høje tank bagerst)



Seks PSA CH_4 / CO_2 kolonner

Anlægget er forsynet med gasfakkel hvis afsætning til gasnettet svigter. Derudover kan biogassen anvendes i gasmotorerne, hvis opgraderingsanlægget, som tidligere nævnt er ude af drift.

Normalt ville det forventes, at biometan skulle tilføres et niveau i gas ledningsnettet, der kunne afdække den samlede mængde. Fordelene ved den anvendte model er, at:

1. Afstand til gasnet kun 800 m. Afstand til medium-tryk gasnet 5 km
2. Kompressionsomkostningerne reduceret væsentligt. Hovedparten af gassen tilsættes til nettet ved 500-800 millibar. Kun i weekenden komprimeres til 40 bar
3. Tilførsel af propan reduceres, da hovedparten af gassen anvendes i lavtryksnettet, der arbejder ved reduceret brændværdi. Kun gas, der føres tilbage til medium-tryk nettet tilføres propan for at opnå brændværdien af naturgas.

Denne konstruktion bevirker, at biogas opgraderingsanlæg kan placeres på steder med begrænset forbrug.

Behandling af udledninger (vand, spildevand, udsugningsluft)

Den CO₂ rige affaldsgas fra PSA anlægget indeholder stadig ca. 2-4% CH₄ og bør derfor ikke aflastes direkte til omgivelserne. På Emmertsbühl anlægget pumpes affaldsgassen til en lille mellembeholder, hvorefter den komprimeres til afbrænding i en forbrændingsovn specielt designet til at brænde gas med lav brændværdi (eflox GmbH). For at opnå en stabil forbrænding tilsættes komprimeret luft og en lille mængde biogas. Affaldsgas forbrændingsanlægget producerer omkring 115 kW varmeenergi. Cirka 100 kW af dette udnyttes til at opvarme rådnethankene, og de resterende 15 kW bruges til anden opvarmning. Affaldsgassen fra ovnen iltes katalytisk før tilførsel til omgivelserne.

Visuelle / lokale påvirkninger

Der er ikke beskrevet nogen uønskede visuelle konsekvenser af anlægget. Det bemærkes, at størstedelen af de tekniske hjælpefunktioner befinder sig i ISO standard stålbeholdere.

ENERGIFORBRUG, OMKOSTNINGER OG ØKONOMI

Energibalance

Elforbrug rådnethanke	Ikke kendt
Elforbrug opgraderingsanlæg	~ 105 til 115 kW
Elproduktion, gasmotorer (kun backup)	420 kW
Varmebehov, rådnethanke	110 kW
Varmebehov, opgraderingsanlæg	Ingen
Varme fra affaldsgas forbrænding	150 kW

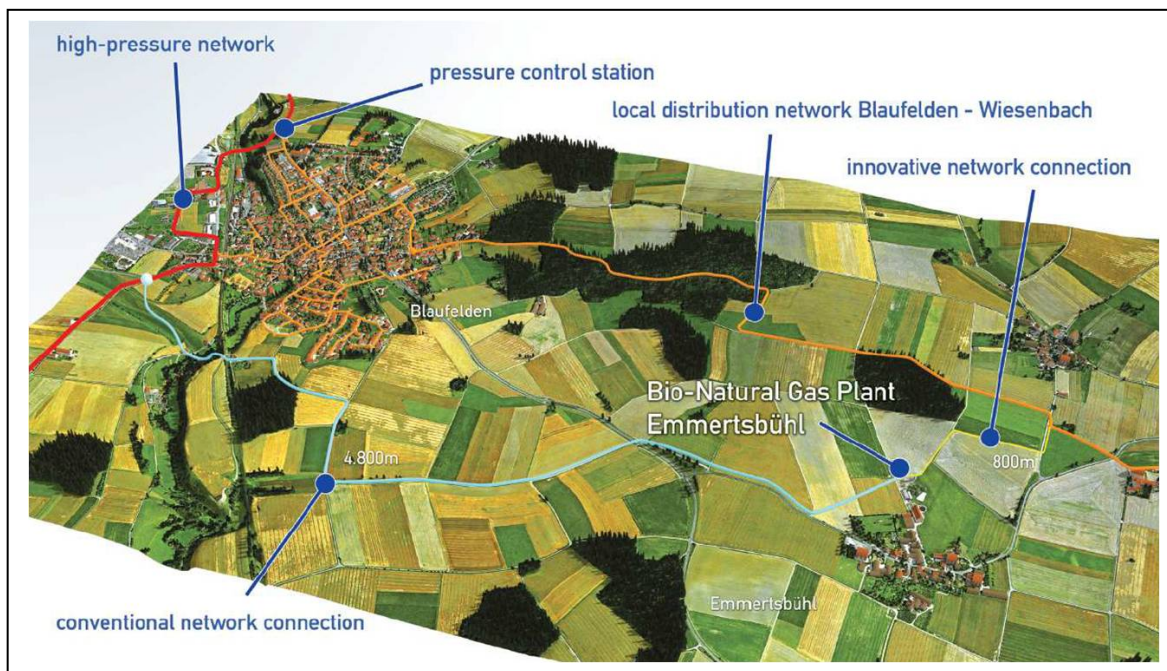
Omkostninger & Økonomi

I Tyskland tilsiger lovgivningen, at energi-leverandører / forsyningsselskaber skal bistå med at levere vedvarende energi til deres kunder. Etablering af biometan anlægget er alene betinget af dette krav.

Leverandøren af opgraderingsanlægget (EnBW Vertrieb GmbH) er med en 20-årig kontrakt forpligtet til at levere 20 til 24.000.000 kWh biometan om året, svarende til en biogasproduktion på cirka 3.600.000 m³ om året.

Afsætningsprisen for biometan skal dække anlægs- og driftsomkostninger for opgraderingsanlægget inklusive værdien af de producerede energiforbrøder med videre.

Leverandøren af opgraderingsanlægget, EnBW Gasnetz GmbH har således aftaler dels med biogasanlægget om leverance af biogas dels med forsyningsselskabet om afsætning af biometan. Omkostningerne tilførsel af biometan beriget med propan til medium-tryk gasnettet påligger forsyningsselskabet. Det havde en anslået kapitalomkostning på 1,8 millioner €. Dette skulle afbalanceres med alternativet, at etablere en 5 km rørledning direkte til medium-tryk nettet frem for 800 m til lavtryksnettet.



Skematisk visning af nettilslutningen

Kilde: J. Darocha, EnBW Vertrieb GmbH, april 2012

Disse aftaler har udgjort basis for etablering af opgraderingsanlægget. Investeringsomkostningerne for opgraderingsanlægget blev omkring € 3 millioner inklusive bygninger. Anlægget har modtaget fondstilskud.

Leverandøren af opgraderingsanlægget, EnBW Gasnetz GmbH forhandlede også afsætning og afsætningspris for produceret biometan. Der er ikke tilskud biometan til gasnet i Tyskland, hvorfor alle omkostninger dækkes af slutbruger. I Tyskland er der tilskud til elektricitet produceret fra vedvarende energikilder, sol, vand, vind og biomasse, herunder biogas. I dette projekt bliver størstedelen af den producerede biometan udnyttet af et lille antal industrielle slutbrugere, der anvender biometan i kraftvarmeværker til produktion af elektricitet og termisk energi, og som sådan nyder godt af el-tilskud. Produceret el tilføres elnettet, mens den termiske energi udnyttes hos slutbruger.

Produktionsomkostningerne for biometan i Tyskland er blevet anslået af leverandøren til at være som følger i 2012 priser:

Kostpris for rå Biogas	5,0 til 6,5 € c / kWh
Kostprisen for Opgradering	1,0 til 1,8 € c / kWh
I alt kostpris for biogas	6,0 til 8,3 € c / kWh

Dette skal sammenlignes med en importpris, eksklusive afgifter, profit med videre for naturgas importeret til Tyskland på ca. 2,73 € c / kWh. Som sådan, anslår opgraderingsanlæggets leder, at kostprisen for forbrugeren ved at købe 100% biometan er godt det dobbelte af naturgasprisen.

Kunderne er ikke forpligtet til at købe gas fra Emmertsbühl anlægget, men kan vælge det til. For at sikre balancen mellem tilført og solgt biometan, kontrolleres biometan mængderne certificeret ved det tyske energiagentur. Kunderne har derfor mulighed for at købe en bestemt mængde biometan / energi eller en hvis andel biometan af deres samlede forbrug.

DISKUSSION OG KONKLUSION

Dette projekt har vist, at der findes tekniske anlæg og til opgradering af mindre mængder biogas til biometan, i dette tilfælde ved hjælp af PSA. Der er over 70 opgraderingsanlæg i Tyskland per april 2012, og størstedelen af disse er etableret på større biogasanlæg med god netadgang, hvor stordriftsfordele gør etableringen økonomisk tilgængelig.

Endnu vigtigere er, at dette projekt demonstrerer, hvorledes gældende fleksibel lovgivning muliggør yderligere udvikling af biometan håndteringen, nemlig basisudnyttelse i et lokalt lavtryk gas-net med tilførsel af overskudsgas til medium-tryk nettet. Projektet viser også, at slutbruger kan acceptere forhøjede energipriser, således at det bliver rentabelt at producere biometan selv i mindre / beskeden målestok.

TAK

Forfatterne vil gerne takke anlægsejere og ledere, herunder EnBW Vertrieb GmbH, for at tillade adgang til anlægget og for at tilvejebringe yderligere oplysninger, der indgår i dette casestudie.

8. ZALAVÍZ WATERWORKS COMPANY, UNGARN

INDLEDNING / OVERSIGT

Biogas anlægget er en del af et renseanlæg, der behandler spildevand fra Zalaegerszeg, et stort byområde i den sydvestlige del af Ungarn. Anlægget dækker et område på cirka 1 hektar og drives efter en 3-trins Phoredox denitrifikations og bio-P aktiv slam behandlingsproces med hydrolyse, anoxisk anlæg og beluftningsanlæg. Rådnetanke blev etableret til behandling af oversslam og idriftsat i december 2009. Rensningsanlægget, herunder rådnetankanlægget blev designet af UTB Envirotech Company Ltd og bygget af Ökoprotech Ltd. Anlægget behandler årligt 50.000 - 60.000 m³ overskudsslam fra beluftningsanlægget samt spildevandsslam fra andre lokale rensningsanlæg.

Den producerede biogas kan bruges til at producere el og varme på kraftvarmeanlægget eller kan opgraderes til biometan. Biometan udnyttes som brændstof til biler. Opgraderingsanlægget blev idriftsat i 2010 og bruger trykvands-skrubning designet af DMT miljøteknologi, Holland, og som leveres lokalt af Ökoprotech Ltd. Optankningsteknologien blev leveret af Fornovogas, Italien.

Opgraderingsanlægget er etableret for at fjerne uønskede og forurenende gasarter fra produceret biogas og til slutanvendelse som brændstof til køretøjer. Opgraderingsanlægget og tankstationen dækker et areal på cirka 500 m².

BESKRIVELSE AF ANLÆGGET

Rådnetankene er designet til at behandle omkring 50.000 - 60.000 tons overskudsslam årligt fra renseanlægget samt slam fra andre rensningsanlæg indenfor 30 km afstand.

Ugentligt udtages 2 prøver til analyse. Et eksternt laboratorium analyserer slammet for tørstof (TS), flygtige faste stoffer (VS), kulhydrater (total), lipider (total), proteiner (total) samt tung- og letmetaller. Analysen udføres i overensstemmelse med lokale standarder (MSZ 318-3: 1979, Ungarn).

Forbehandling

Anaerob nedbrydning

Rådnetank-anlægget har ikke forlager eller blandetank til slam. Produceret og tilkørt slam pumpes direkte til rådnetanke uden yderligere forbehandling.

Anlæggets 2 rådnetanke er udført i jernbeton, isoleret med 15 cm polystyren og dækket med vejrbeskyttende beklædning. Hver rådnetank har en volumen på 1.460 m³ eller et totalt volumen på 2.920 m³. Udrådningen finder sted ved mesofil temperatur, 36 - 38°C. Den nødvendige procesvarme leveres af kølevand fra anlæggets gasmotorer og kedler og overføres til slammet via rør i rør vand / slam varmevekslere. Massen i rådnetankene omrøres mekanisk med topmonterede Scaba omrørere med svømmelagsbrydere. Rådnetank indholdet recirkuleres desuden.

Overskudsslam tilføres rådnetankene med cirka 5% TS / 70% VS/TS, og den hydrauliske opholdstid er 20 dage. Slammet pumpes kontinuerligt ind i rådnetankene med en mono-pumpe.

Udrådningen overvåges ved følgende målinger og analyser:

Parameter	Hyppighed	Prøve-udtagning	Metode	Sted	Ekspeditions tid
Temperatur	Vedvarende	Online	-	På anlægget	Omgående
pH	Vedvarende	Online	-	På anlægget	Omgående
Total tørstof TS og organisk stof VS	Ugentlig	Manuelt	MSZ 318-3 :1979 (Hungary)	Laboratoriet	Månedens efter
Organisk belastning (kg VS / m ³ og d)	Ugentlig	Manuelt	MSZ 318-3 :1979 (Ungarn)	Laboratoriet	Månedens efter
Flygtige fedtsyrer (VFA)	Ugentlig	Manuelt	MX-7:2008 (Ungarn)	Laboratoriet	Ugen efter

Substrat

Anlægget har en 500 m³ lagertank til udrådnings slam. Slammet har et TS indhold på ca. 3,8%, og indholdet omrøres mekanisk i lagertanken for at forhindre bundfældning. Der opsamles ikke biogas fra lagertanken.

Udrådnings slam pumpes til slutfærdig med en stempelpumpe. Slutfærdig finder sted i en Alfa-Laval centrifuge. Denne producerer ca. 35.000 - 40.000 m³ rejeftvand og 8.000 - 10.000 tons slamkage per år med et tørstofindhold på ca. 20% pr. år.

Afvandet slam føres til 9 m³ containere, der afhentes med lastbil 2-3 gange om dagen og køres til en lagerplads cirka 5 km fra anlægget. Slammet anvendes på landbrugsarealer til produktion af foderafgrøder i overensstemmelse med national lovgivning (50/2001 (IV.3) statslig forordning, Ungarn). Slutbrugerne af slammet har rapporteret en 30-40% stigning i planteproduktionen i forhold til handelsgødning.

Rejeftvand fra centrifugen indeholder høje ammoniak-koncentrationer. For at reducere koncentrationen behandles rejeftet i et DEamMONification (DEMON) anlæg, hvor nitrit og ammoniak reagerer under dannelse af atmosfærisk kvælstof. Anlægget er etableret i 2010 og har en behandlingskapacitet på 160 m³ / dag, svarende til omdannelse af omkring 160 kg / dag NH₄ - N. Processen reducerer ammoniak-koncentrationerne fra omkring 800 - 1000 mg / l til ca. 100 mg / l. Processen producerer cirka 150 m³ udløb, der recirkuleres til renseanlægget.

Processen overvåges ved følgende parametre:

Parameter	Hyppighed	Prøve-udtagning	Metode	Sted	Ekspeditions-tid
Næringsstoffer & Sporstoffer (N, P, S, Fe, Co, Ni, Mo, Se, Cr, Pb, Mg, Mn) g / kg TS	3 gange / år	Manuelt	MSZ	Laboratoriet	Næste uge
N / kg FM belastning	Ugentligt	Manuelt	MSZ 318 (Ungarn)	Laboratoriet	Næste måned

Flygtige fedtsyrer (VFA)	Hver anden uge	Manuelt	MX-7:2008*	Laboratoriet	Næste måned
--------------------------	----------------	---------	------------	--------------	-------------

* Bemærk: MX-7:2008 er en specifik metode for stedet som er blevet officielt godkendt af anlæggets laboratorium.

Biogas Produktion og Udnyttelse

Rådnetankene producerer 1.000 - 1.200 m³ biogas / dag. Gassen udnyttes enten til produktion af kraft-varme eller til opgradering og anvendes som brændstof til køretøjer. Rådnetankanlægget producerer cirka 30 % af den dimensionsgivende kapacitet. Den lave produktion er forårsaget af mindre spildevandsmængder til renseanlægget end forventet og dermed mindre slam til rådnetankene.

Rå biogas indeholder cirka 69% metan, 31% kuldioxid og 0,4% nitrogen og lagres på stedet i et 1.000 m³ Sattler gaslager. Før anvendelsen bliver gassen tørret og komprimeret til ca. 60 mbar.

Der er ikke angivet detaljer for kraft-varme anlægget og gaskedler, hvor gassen udnyttes; dog er el-produktionen angivet til 1.200 - 1.700 kWh / dag.

Biogas opgradering inkluderer 2 forbehandlings processer. Først reduceres svovlbrinte koncentrationen fra cirka 75 mg/m³ i den rå biogas til <1,5 mg/m³ ved hjælp af en aktivt kul. Kulfilteret er ikke udskiftning siden ibrugtagningen i 2010.



Biogas opgraderingsenhed i ISO stål container



200 bar biometan lager

Dernæst fjernes kuldioxid fra gasstrømmen ved hjælp af et trykvandskrubning (ill. 1) designet af DMT miljøteknologi, Holland, og som lokalt leveres af Ökoprotec Ltd. Anlægget har en kapacitet på 50Nm³ / time. Dette system inkluderer recirkulering af trykvand for at minimere det samlede vandforbrug. Samlet vandforbrug i 2011 er rapporteret til at være 60 m³. Gaskvaliteten for opgraderet gas er cirka 99,15% biometan og 0,85% kuldioxid. Biometan produktionen er omkring 15-20 kg per dag, hvilket svarer til mellem 1,5 og 2% af den samlede biogasmængde, der kan produceres af rådnetankne. Opgraderet biogas komprimeres til 200 bar og lagres på stedet i 25 nummererede 80 liters trykflasker (ill. 2). Tanksystemet til optankning af køretøjer (ill. 3) er leveret af Fornovogas, Italien. Anlægget styres af et styringssystem baseret på webcada med grafisk brugergrænseflade (ill. 4). Opgraderings og tanknings faciliteten opfylder efterspørgslen af 10 CNG (komprimeret naturgas) køretøjer (ca. 30 m³ / dag). Tab af metan ved opgraderingssystemet er blevet opgjort til ca. 0,1%.



Biometan tank station



Webcada kontrol grænseflade

På grund af højtryks gaslagrene er anlægget EX-område, og overholdelse af forordningerne udstukket af det lokale Mineinspektorat og det ungarske kontor for udstedelser af handelslicenser (Ungarn) er vigtig.

Visuel / lokale påvirkninger

Der er ikke beskrevet nogen negative visuelle konsekvenser af anlægget. Det bemærkes, at størstedelen af de tekniske hjælpefunktioner befinder sig i ISO standard stål containere.

ENERGIFORBRUG, OMKOSTNINGER OG ØKONOMI

Energibalance

El forbrug, rådnetanke

20kWh / dag

El forbrug,

opgraderings- & brændstofpåfyldningsanlæg

55 kWh / dag (hvis i kontinuerlig drift)

Elproduktion, gasmotorer

1.200 - 1.700 kWh / dag

Varmebehov, rådnetankene

3.600 - 6.000 kWh / dag (150 - 200 kW)

Varmebehov, opgraderings- &

brændstofpåfyldningsanlæg

0 kWh / dag

Biogas kedel & kraftvarme varmeproduktion

3.120 kWh / dag (ca.)

Omkostninger & Økonomi

Kapital-og driftsudgifter til opgraderingsanlægget er vurderet af ejeren som følger:

Kapitalomkostning

600.000 - 700.000 EUR

Driftsomkostninger:

Elektricitet

1.000 EUR

EX-forhold, kontrol & certificering

13.700 EUR

Kalibrering & told betalinger

1.700 EUR

Udskiftning af aktivt kul

6.700 EUR

Diverse

1.700 EUR

Normal vedligeholdelse af opgraderingsanlægget varetages af en medarbejder. Der har været mindre driftsmæssige problemer siden idriftsættelsen af anlægget, primært forbundet med opstået koldt vejr og alarmer fra lavtemperatur sensorerne i DEMON-anlægget; dog menes disse spørgsmål at være relativt enkle at løse.

DISKUSSION OG KONKLUSION

Dette er den første biometan tankstation i Central- og Østeuropa. Planlægningen af anlægget omfattede en kommunikationsstrategi, så relevante oplysninger kunne leveres til offentligheden og medierne. Derved har anlæggets ejer sammen med den lokale regering og distributørerne af de CNG køretøjer, der bruges af anlægget, i høj grad medvirket til, at der blev sat fokus på biogas og mere udtalt på miljømæssige emner i regionen.

Oprindeligt var anlægget tænkt etableret for at fjerne svovlbrinte og kultveilde fra biogasstrømmen og dermed forlænge gasmotorernes levetid. Opgraderingsanlægget og udnyttelse af biometan som drivmiddel bibringer imidlertid både miljømæssige og økonomiske fordele.

Det bemærkes, at anlægsejerne i øjeblikket vurderer potentialet for installation af en hygiejniseringsenhed til eksempelvis slagteriaffald og lignende, således at rådnetankene kan belastes yderligere og dermed levere en højere biogasproduktion.

9. BRUCK/LEITHA BIOGASANLÆG, ØSTRIG

INDLEDNING / OVERSIGT

Biogas / biometan anlægget ligger i et landbrugsområde 40 km øst for Wien i delstaten Niederösterreich i den østlige del af Østrig. Biogasanlægget drives som en sam-udrådningsanlæg og udnytter i høj grad organisk affald til produktion af biogas af høj kvalitet. Anlægget blev idriftsat i 2004 og producerede oprindeligt el og varme, med varmeafsætning til det lokale fjernvarmenet. I 2007 blev biogasanlægget udvidet med et biogas-opgraderingsanlæg, der fremstiller biometan, som tilføres naturgasnettet. En del af denne gas forbruges i det lokale lavtryks-net. I perioder med lavt forbrug, om sommeren og om natten, komprimeres den til 60bar og tilføres i regionale højtryks gasnet. Fabrikanten af opgraderingssystemet var Axium Angewandte Prozesstechnik GmbH, og hele biogas / biometan produktionsanlægget drives af Biogas Bruck / Leitha GmbH.

ANLÆGSBESKRIVELSE

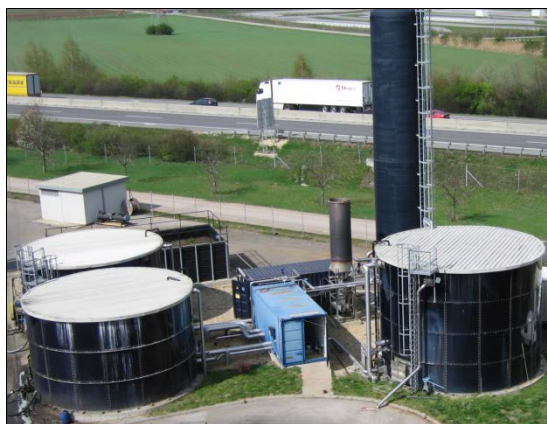
Biogasanlægget tilføres overvejende energiafgrøder med tilsats af organiske restmaterialer af varierende oprindelse, herunder fra fødevareproduktionen, dato-udløbet emballeret og ikke emballeret mad, lecitin fra produktion af biodiesel, kildesorteret organisk affald fra husholdninger og lokal handel, fedt udskiller fedt, madolie og fedt, mejerifaffald og slagteriaffald. Samlet biomasse tilførsel er cirka 28.000 tons om året.

Forbehandling

Anlægget har en række forbehandlings funktioner. Flydende masse opbevares i to mellemstore buffertanke. Fast organisk masse opbevares i en plansilo på anlægget. Pakket materiale, dato-udløbet, kasseret mad udpakkes mekanisk og pumpes til buffertanken. Overfladevand fra pladser opsamles i en beholder for at forsyne al nødvendig procesvand til udrådningsanlægget. Råmasse blandes med dette vand i en ud af to blandetanke, og tørstofindholdet tilpasses. Under den automatiske pumpning til de to primære rådnetanke neddeles partiklerne til cirka 10 mm partikelstørrelse. Omkring 100 tons råmateriale tilføres rådnetankene dagligt.



Udpakningsanlæg for kasserede madvarer (bagbygningen)



Væske buffertanke (til venstre), overfladevandtank (til højre)



Plansilo til fast organisk materiale



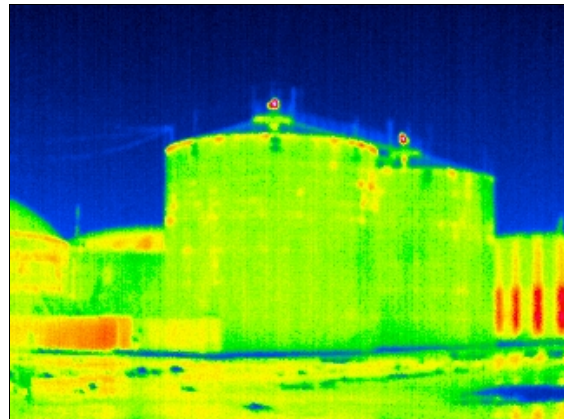
Blandetank (forrest)

Anaerob udrådning og substrat

Råmasse pumpes direkte fra blandetankene til de primære rådnetanke. Anlægget har tre rådnetanke på hver 3.000 m³ i drift. To af disse beholdere er dobbeltvalsede LIPP ståltankanlæg, den tredje er betydeligt nyere og i beton med gaslager. Driftstemperaturen er 38°C, hvilket giver et varmekonsum på cirka 200 kW, midlet over året. LIPP tankene er forsynede med tophængte røreværker. Betontanken har sidemonterede røreværker. Mikronæringsstoffer og jerns til H₂S reduktion tilsættes løbende til rådnetankene.



De 2 primære rustfrie stål rådnetanke (til højre) & den sekundære rådnetank med gaslager (bagerst til venstre)



Termisk billede af de primære rådnetanke



Den primære rådnetanks omrører før montage



Udrådet gødning afhentes af en lokal landmand

Udløb fra de 2 primære rådnnetanke tilføres 2 sekundære rådnnetanke på hver 5.000 m³, der også er opvarmet til 38°C og mekanisk omrørt. Begge beholdere er udstyret med en fleksibel dobbelt membran gaslager topkonstruktion. Derudover fungerer disse beholdere som lagertanke. Udrådnet masse separeres ikke men anvendes direkte af lokale landmænd som gødningsstof. Det er tilladt af gøde fra april til november. Det anslås, at 2-3% af den samlede gasproduktion produceres i de sekundære tankanlæg.

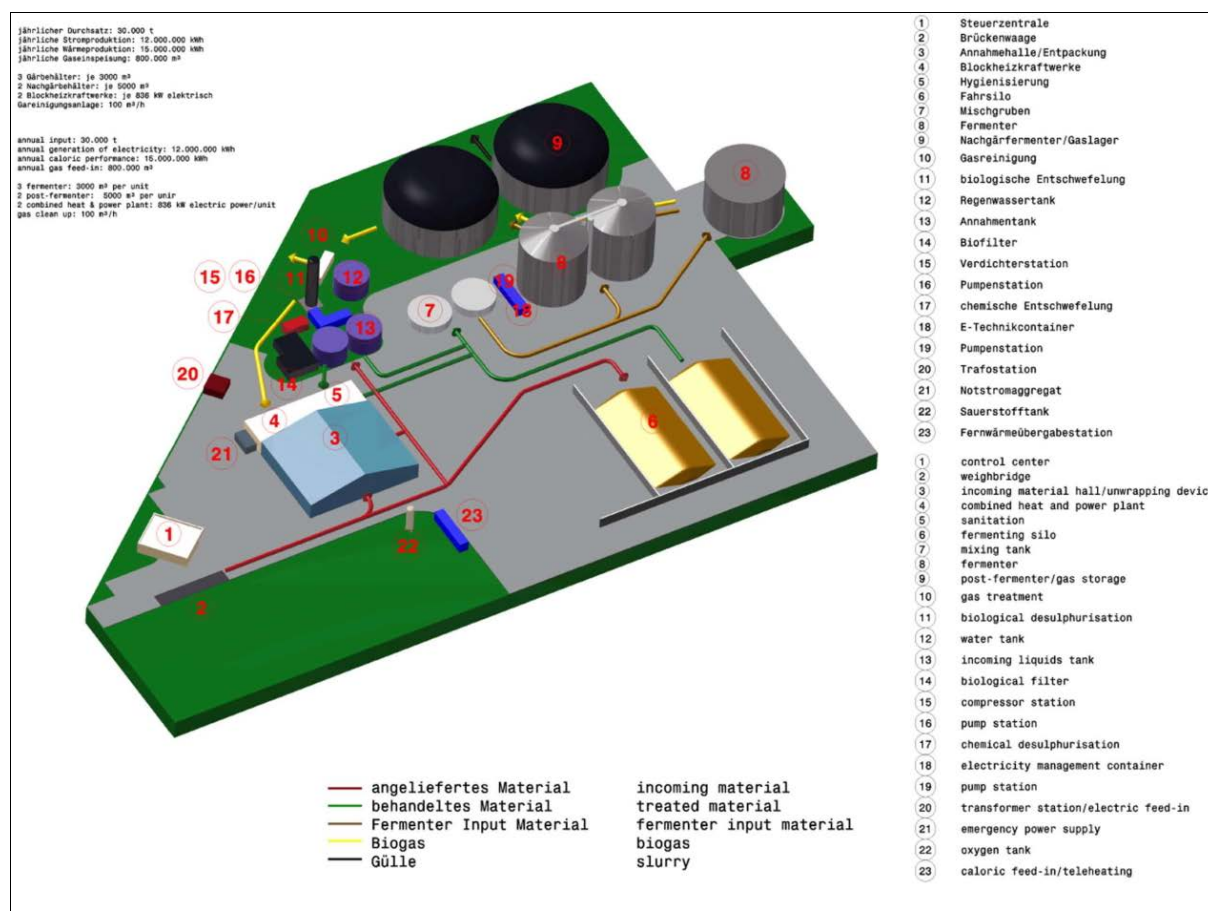


Kombineret sekundær rådnnetank og gaslager



Kombineret sekundær rådnnetank og gaslager

Den samlede behandlingstid i systemet er 50 til 60 dage.



Oversigt over biogas / biometan anlægget i Bruck/Leitha

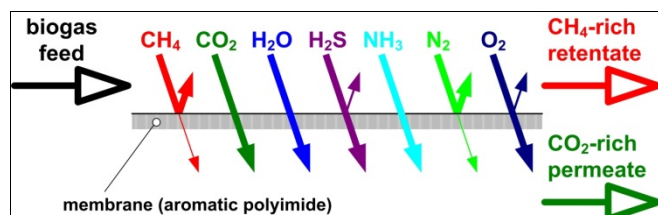
Biogas Produktion og udnyttelse

Biogsproduktionen er på omkring 800 m³ / time og har typisk et metan indhold på 60 - 64%. Størstedelen af biogassen udnyttes i 2 gasmotorer, GE Jenbacher, 2 gange 836 kWel, der producerer 12 GWh elektricitet og 15 GWh procesvarme på årsbasis. El tilføres el-nettet som grøn energi til en salgspris på omkring 8.5€ct/kWh, årlig gennemsnitlig værdi. Varme, omkring 1,2 MW leveres til det lokale fjernvarmesystem i byen Bruck / Leitha, cirka 11 km fra anlægget som bidrag til et lokalt biomasse kedelanlæg, 6 MW. Således forsynes omkring 800 husstande med fjernvarme, hvilket svarer til cirka en tredjedel af varmebehovet i Bruck / Leitha. En lille mængde af den varme, der produceres af gasmotorerne udnyttes til opvarmning af rådnetankene til driftstemperatur, cirka 200 kW som en årlig gennemsnitsværdi. Det samlede elforbrug på biogas / biometan produktionsanlæggene er omkring 1 GWh om året.

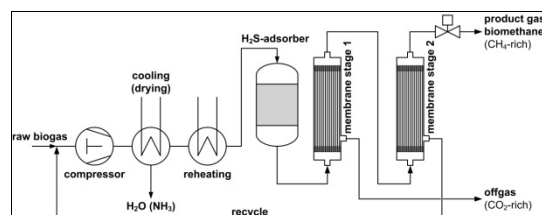
I år 2007 blev biogas opgraderingsanlægget installeret og idriftsat med en biometan produktionskapacitet på 100 m³ / time. Biometan tilføres det nærliggende naturgasnet. Der medgår cirka 170 m³ biogas i timen til produktion af biometan. Anlægget er det første biometan anlæg i Østrig, hvorfra der er tilførsel af gas til naturgas-nettet. Anlægget har været i regelmæssig drift siden 2008.

Biogas opgraderingsanlægget er designet og bygget i sammenhæng med forskningsprojektet "Virtuel biogas": www.virtuellesbiogas.at i et samarbejde med førende gasselskaber, universiteter, Wiens tekniske universitet, Universitet for naturressourcer og biovidenskab i Wien, biogasanlæggets indehaver, og anlæggets entreprenør / leverandør. Opgraderingsanlægget anvender membran teknologi til fjernelse af kuldioxid og vanddamp. Anlægget er designet og fremstillet af firmaet AXIOM Angewandte Prozesstechnik GmbH og har været drevet siden 2008 af biogasanlæggets ejer Biogas Bruck / Leitha GmbH. Hele opgraderingsanlægget er monteret inde i en standard 30 fods container. Anlægget er produceret andetsteds og kørt til biogasanlægget som færdigproduceret for tilkobling til biogasanlægget. Producenten har siden opnået en række ordrer fra både Østrig og Tyskland, og teknologien er således kommercielt tilgængelig.

Anlægget er baseret på kemisk reaktive membraner, der reagerer med hovedsagelig svovlbrinte og kultveilde, der med højt tryk presses igennem den reaktive flade, permeat-strømmen. Ikke reaktive gasser, kvælstof og metan koncentrerer på membranernes trykside, retentat-strømmen. Hele processen er enkel, ligetil og kompakt. Separationsteknikken anvender en tæt polyimid-membran. Biogas tilføres fra en kompressorstation som drivkraft til separationen. Høj trykforskel over membranernes tryk og permeatside giver en høj gennemtrængning og visa versa. Med polyimid-membran materialet fjernes de fleste uønskede gasarter kvantitativt fra tilførselsstrømmen og transporteres gennem membranen til permeatstrømmen. Kun nitrogen og metan forbliver på tryksiden, retentatet. Retentatets kvalitet er bestemt af membranareal og driftsbetingelserne. Fordelene ved denne fremgangsmåde i forhold til andre er kontinuiteten, kompaktheden, samtidig tørring og fjernelse af spor af svovlbrinte og ammoniak. Eftersom blandingen af NH₃, H₂S og meget fugtig gas kan beskadige membranen, er en gasbehandling før membran anlægget nødvendig.



Princippet om gasseparation ved hjælp af membranteknik gasgennemtrængning

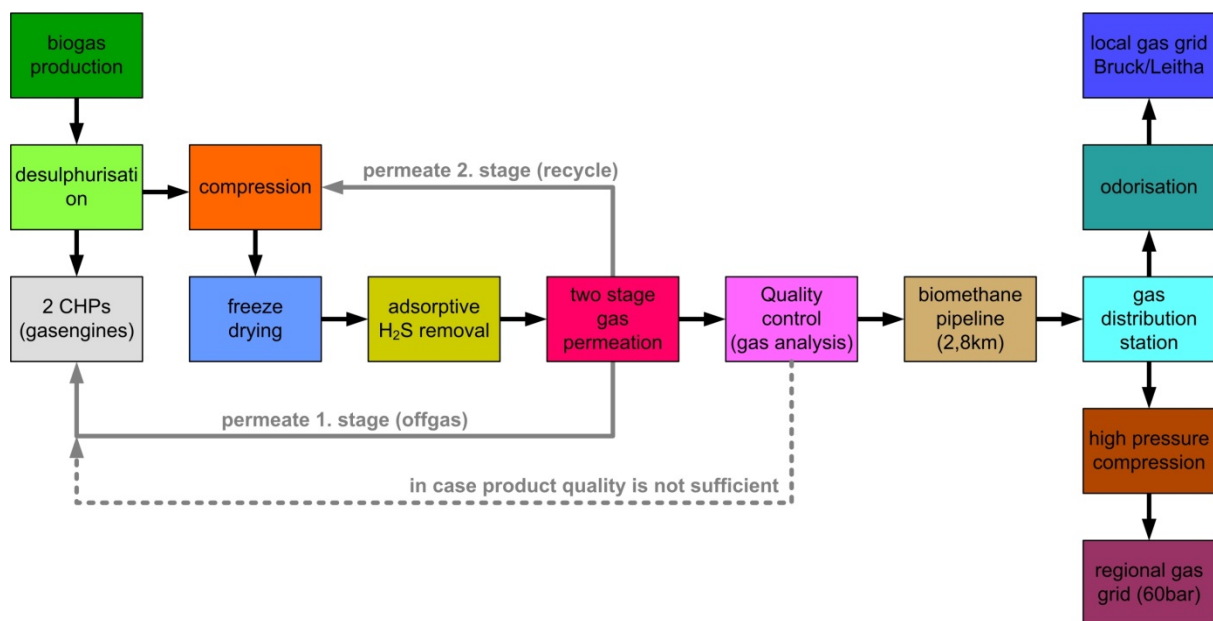


Proces konceptplan for biogas opgradering ved hjælp af gasgennemtrængning

Membranerne er opbygget som hule fibre med højttryk tilførsel / retentat strøm på indersiden af fiberen, og lavt tryk på permeatsiden, ydersiden. Hvert membranmodul indeholder et meget stort antal fibre.

Opgraderingsanlægget Bruck / Leitha er opbygget som 2-trins anlæg. Først blandes den rå biogas fra rådnetskene med permeat fra den anden membrantrin. Blandgassen komprimeres og køles til under 7°C i gas varmevekslere. Gassen udkondenseres for efterfølgende at blive varmet op af overskudsvarme fra kompressoren for at opnå en optimal temperatur. Derefter bliver svovlbrinte fjernet ved hjælp af adsorption, og gas tilføres to-trins membranseparationsprocessen.

Membrananlægget er opført som et 2-trins anlæg for at minimere metan tabet. Permeatet fra andet trin, som indeholder væsentligt højere koncentrationer metan end permeatet fra det første trin, føres tilbage til genkomprimering. Som følge af genbrug af dette permeat forventes en ikke-lineær dynamisk egenskab af processen. Metan kvaliteten for den producerede retentat-gas fra andet membran-trin styres af en proportionalventil, der er placeret ved retentat udløbet. Aflastningen af biometan kontrolleres af en PID-regulator, som styrer trykket i tilførselsstrømmen til membrananlægget, og på denne måde metan indholdet i retentat gassen. Ved at anvende denne kontrolstrategi kan der fremstilles en retentat gas med et givet ønskeligt metan indhold mellem 70% og mere end 99% metan. Volumenstrømmen af den producerede biogas justeres let med en PID-regulator, der styrer rotationshastigheden for kompressoren ved hjælp af en frekvensomformer.



Procesintegration af biogas opgraderingsanlægget Bruck / Leitha

Som for andre teknikker er der et tab af metan til affaldsgas. Den kuldioxid-rige affaldsgas indeholder 2-3% af den producerede biometan mængde samt spor af andre gasser. For at opnå en nuludlednings-strategi for metan føres affaldsgas til de gasmotorernes luftindtag. Således tabes kun del metan, der ikke forbrændes i gasmotorerne.

Biometan analyseres løbende for metan, kuldioxid, ilt, svovlbrinte og fugtighed. Biometanen pumpes herefter ved en 2,8 km lang rørledning til en tankstation, der distribuerer gassen. Afsætningen afhænger af, at kravstørrelser til gaskvaliteten løbende overholdes. Overholdes kvaliteten ikke, sker der en automatisk optimering af gasseparationen ved en reduktion af kompressorens ydelse. Kravværdien til biometan er 10,86 kWh / m³ og er kompatibel med standarden for det østrigske gas net. Det er derfor ikke nødvendigt at tilsætte LPG (flaskegas) for at øge brændværdien. Den "grønne" naturgas sælges til el-net udbyderen på virtuel basis.



Visning ude- og indefra af biogas opgraderingsanlægget Bruck / Leitha, som viser kompressor, varmevekslere (til højre) og membranmoduler (til venstre)

Biometan leveres til den nærliggende by Bruck / Leitha (Befolkning: 7.600) via lavtryks-naturgasnettet ved et tryk på op til 3 bar. Det årlige forbrug til de omkring 800 husstande er dækket af den tilførte mængde biometan dog således, at der er underskud af biometan om vinteren og overskud om sommeren. Biometan, der er tilovers, komprimeres til 60bar og tilføres det regionale mellemtryk naturgasnet. Hermed kan opgraderingsanlægget drives hele året med deraf følgende optimeret arbejdsbyrde og indtægtsgrundlag.

Den anvendte membran er følsom for svovlbrinte. Af samme grund er der etableret et 4-trins renseanlæg til svovlbrinte fjernelse.

Oprindeligt bestod svovlbrinte fjernelsen af en biologisk vasker med tilførsel af atmosfærisk luft og bakteriel iltning til elementært svovl og svovlsyrling. Dette anlæg er nu kun en del af det samlede anlæg.

Den rå biogas indeholder typisk op til 1.000 ppm svovlbrinte med maksimale koncentrationer på op til 2.000 ppm ses også hyppigt og afhængig af tilført biomasse. Desuden er der rapporteret om høje gradienter i svovlbrinte indholdet. På grund af sin giftighed, gasmembranernes følsomhed og krav til naturgas kvalitet skal gassen renses til et meget lavt svovlbrinte niveau.

Svovlbrinteanlægget er nu opbygget som følger:

- in-situ-afsvovling ved tilsætning af flydende blandinger af metalsalte direkte til rådnetanken ved kemisk svovlbinding. Som følge heraf indeholder den producerede biogas typisk 100 til 500ppmv svovlbrinte ved afgang fra gaslagertankene
- mikrobiologisk behandling af gassen ved hjælp af kemoautotrofe bakterier under dannelse af elementært svovl samt svovlsyrling ved forbrug af ilt fra atmosfærisk luft. Det resulterer i reduktion af svovlbrinte til ca. 50 ppm. som iltningmiddel. Da luft består af fire femtedele kvælstof, og kvælstof ikke kan fjernes med opgraderingsteknikken, er dette afsvovlingstrin blevet omlagt fra tilførsel af atmosfærisk luft til tilførsel af ilt

- kemisk oxidativ skrubning, hvor den sure gas vaskes med en kaustisk opløsning, NaOH til absorption af H_2S fra gassen. Efterfølgende iltes den absorberede H_2S med brintoverilte for selektivt at reducere optagelsen af kuldioxid og belastningskapaciteten
- sidste trin med adsorption på hjælp af jernoxid eller zinkoxid. Hermed reduceres svovlbrinte indholdet fra 70 ppm til mindre end 3,3 ppm, der er kravværdien for tilførsel til naturgas nettet.



Biologisk skrubber for rå biogas afsvovling



Jernoxid opsuger for den endelige biogas afsvovling

Anvendelsen af NaOH skrubbersystemet til biogas afsvovling er ny, og et pilotanlæg med en rå gas kapacitet på $300 \text{ m}^3 / \text{time}$ er designet, bygget og optimeret i løbet af en to-årig forskningsprojektsfase. Anlægget har været i regelmæssig drift siden 2010 og er kommercielt tilgængelig nu. Det anvendes nu også på et andet østrigsk biogas opgraderingsanlæg med biometan tilførsel til naturgas nettet. Det har vist sig, at det biologiske vaskersystem ikke er i stand til at sikre en stabil afsvovling / et konstant H_2S indhold i den vaskede gasstrøm under faser med stærkt svingende rå biogas kvantitet og kvalitet, idet mikroorganismerne har brug for tid til at tilpasse sig de ændrede forhold.



Teknikcontainer for NaOH og brintoverilte skrubber til forbehandlet biogas



Skrubber kolonne



Natriumhydroxid doseringspumpe



Foto af anlægget med angivelse af forbindelse til naturgasnettet (Google Earth 2012)

Anlægget har en lukket gasfakkel til afbrænding af gas, der ikke udnyttes på anden vis.

Behandling af udledninger (vand, spildevand, udsugningsluft)

Den CO₂ rige affaldsgas fra biometan produktionsanlægget indeholder stadig ca. 2-4% CH₄ og må ikke frigives direkte til omgivelserne. Som allerede nævnt blandes affaldsgas med rå biogas og ledes til kraftvarme gasmotorerne. Det er muligt at forbrænde denne tyndere gas i motorerne, da opgraderingsanlægget kun aftager en mindre del af den samlede biogasproduktion.

Visuel / lokale påvirkninger

Der er ikke blevet beskrevet nogen uønskede visuelle konsekvenser af anlægget. Det bemærkes, at størstedelen af det tekniske hjælpeanlæg befinder sig i ISO standard containere i stål. Derudover er afstanden fra biogasanlægget til beboede områder relativt stor.

ENERGIFORBRUG, OMKOSTNINGER OG ØKONOMI

Masse- og energibalance

Råmasse, biogasanlæg	28.000 t / år (ca. 3,3 t / time)
Produceret biogas	6.800.000 m ³ / år (ca. 800 m ³ / time)
Biometan net tilførsel	800.000 m ³ / år (100 m ³ / time)
Elforbrug, rådnethusholdningsanlæg	1.000.000 kWh / år (ca. 120 kW)
Elforbrug, opgraderingsanlæg	296.000 kWh / år (ca. 37kW)
El produktion	12.000.000 kWh / år (ca. 1.400 kW)
Varmebehov, biogasanlæg	1.700.000 kWh / år (ca. 200 kW)
Varmebehov, opgradering	intet
Varme produktion	15.000.000 kWh / år (ca. 1750 kW)
Varme, til fjernvarme	10.200.000 kWh / år (ca. 1.200 kW)

Omkostninger & Økonomi

Først og fremmest skal det nævnes, at der på nuværende tidspunkt ikke eksisterer en lovpligtig pris for biometan i Østerg. Anlægsejere, som tilfører biometan til naturgas nettet, er nødt til at etablere individuelle kontrakter med individuelle tariffer og kontraktperioder med relevante parter, gas selskaber. Der er stadig intet lovmæssigt, der kan sammenlignes med den grønne el takst (2012).

Anlægget blev opført som et element af et forskningsprojekt med 50% finansiering af nationale og føderale agenturer, og tre store gas-og energiselskaber i det østlige Østerg har bidraget med de resterende 50%. Den tilførte biometan leveres gratis til disse virksomheder af biogasanlæggets ejer i forskningsprojektets levetid. Derefter er opgraderingsanlægget ejermæssigt overført til biogasanlægget uden yderligere omkostninger for dette selskab.

Investeringsomkostninger for biogasanlægget er beregnet til at være i størrelsesordenen 6,5 mio. €, de driftsmæssige omkostninger er ikke blevet oplyst og er vanskelige at vurdere. De samlede specifikke produktionsomkostninger er blevet anslået til at være i omegnen af 0,30 € / m³ for rå biogas.

Investeringsomkostningerne for biogas anlægget er cirka 800.000 €. Kapital og driftsomkostninger er detailopgjort og andrager cirka 0,25 € / m³ biometan produceret.

Da produktionen af 1 m³ biometan kræver omkring 1,7 m³ rå biogas, bliver de samlede specifikke produktionsomkostninger alt inklusive 0,76 € / m³, ved 67% metan i biogas og opgradering af 33% af den producerede biogas. I forhold til brændværdien er produktionsomkostninger omkring 7 €ct. / kWh. Alle omkostninger er baseret på drift af anlægget i 2012.

Kunder behøver ikke fysisk købe gassen, som er produceret på Bruck / Leitha anlægget, da den tilførte mængde fordeler sig tilfældigt i gasnettet. For at sikre, at balancen mellem produceret og solgt biometan stemmer, er biometan mængderne registreret og certificeret af TÜV Østrig Services GmbH. Kunder har mulighed for at købe til en ønsket effekt, et ønsket volumen eller en ønsket andel af deres forbrug.

Vedligeholdelse af AD-anlægget og opgradering af anlægget varetages af en medarbejder. Efter optimeringsfasen er der ikke været rapporteret nogen signifikante driftsmæssige problemer.

DISKUSSION OG KONKLUSION

Dette casestudie belyser en række vigtige forhold:

- teknologien til at producere biogas og opgradere den til biometan er let tilgængelig, i denne sammenhæng ved hjælp af membranseparation gasgennemtrængning
- anvendelsen af membranteknologi til biogas opgradering er rentabel i mindre skala
- dagens anlæg har typisk en produktionskapacitet, der er flere gange højere end det beskrevne anlæg i Bruck / Leitha

Også med membranteknologi er der stordriftsfordele. Uanset dette vil biometan ikke være direkte konkurrencedygtig med importeret naturgas.

Ejerne af biogas / biometan anlægget i Bruck / Leitha er meget tilfredse med anlæggene og de driftsmæssige forhold. I øjeblikket vurderer de muligheden for at udvide biogas opgraderingskapaciteten til 800 m³ / time på rå biogas eller den samlede produktion. Dermed kan kraft-varme produktionen indstilles eller begrænses til et nødvendigt minimum. Realiseringen afhænger af resultatet af igangværende forhandlinger om priser på grøn energi.

TAK

Forfatterne vil gerne takke anlægsejere og ledere på Biogas Bruck / Leitha GmbH (DI Gerhard Danzinger og DI (FH) for at tillade adgang til anlægget og for at tilvejebringe yderligere oplysninger, der indgår i dette casestudie.

**Dette dokument er lavet af Videncentret for Landbrug som del af Biometan
Regioner projektet**

Vi takker for projektpartnerernes hjælp og assistance med at samle informationen