

Biogasanlæg til afgangning af kløvergræs og andre faste biomasser

[



Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri



Den Europæiske Landbrugsfond for Udvikling af Landdistrikterne



Naturerhverv.dk



Danmark og Europa investerer i landdistrikterne

Se 'European Agricultural Fund for Rural Development' (EAFRD)

Biogasanlæg til afgangning af kløvergræs og andre faste biomasser

Skrevet af Erik Fog
December 2014

Denne rapport er udarbejdet af Videncentret for Landbrug som en del af projektet "Økologisk gødning baseret på fast organisk materiale behandlet i biogasanlæg" finansieret af EU's landdistriktsmidler og Fonden for Økologisk Landbrug.

Sammendrag

Biogasproduktion som en integreret del af økologisk jordbrug vil kunne fremme omlægningen til økologisk drift, fordi man kan sikre tilstrækkelig og effektiv gødning fra biogasanlæggene. Det kræver dog biogasanlæg, der kan omdanne store mængder plantemateriale og andre faste biomasser, da en stor del af gødningskraften skal komme fra kvælstofholdigt kløvergræs.

Seks forskellige biogasanlæg er beskrevet med henblik på funktionsmåde. De er alle beskrevet i forhold til, hvordan de vil kunne behandle en bestemt mængde biomasse, som tre økologiske planteavlere kunne levere til anlægget.

Alle anlæg kan håndtere eksemplets biomasser, men i nogle anlæg skal gylle eller recirkuleret væske udgøre den del af biomassen, for at anlægget kan håndtere det.

Der er også en del forskel på, hvor stor en gasproduktion anlæggene leverer ud fra den tilførte biomasse.

Økonomien i at etablere og drive anlæggene er ikke behandlet. Det bliver eksemplificeret i en anden rapport. Afslutningsvis fremhæves forhold, som det er vigtigt at overveje, når man skal vælge biogasanlæg til behandling af faste biomasser fra økologisk jordbrug.

Indhold

(benyt ctrl+klik for at springe til det ønskede afsnit)

Sammendrag.....	1
Indhold.....	2
1. Problemstilling.....	3
2. Undersøgelsesmetode.....	3
3. Præsentation af seks forskellige biogasanlæg	5
3.1 Vådfermenteringsanlæg – agriKomp og ComBigaS.....	5
3.1.1 agriKomp – anlægget.....	5
Kontaktoplysninger:.....	8
3.1.2 ComBigaS-anlægget.....	9
Kontaktoplysninger:.....	11
3.2 Modifieret våd-fermenteringsanlæg – Sauter.....	12
Kontaktoplysninger:.....	14
3.3 Plug-flow-anlæg: Dranco og KompoGas	14
3.3.1 Dranco – Farm	14
Kontaktoplysninger:.....	17
3.3.2 Kompogas	17
Kontaktoplysninger:.....	19
3.4 Tørfermenteringsanlæg – garageanlæg	19
3.4.1 Aikan-anlægget	20
Kontaktoplysninger:.....	22
4. Overvejelser om valg af anlægstype.....	22
Bilag 1 – Medvirkende landbrug og anlægsleverandører.....	27
Økologiske planteavlsbedrifter	27
Indbudte firmaer	27

1. Problemstilling

En af de vigtige barrierer for at få omlagt konventionelle bedrifter til økologisk drift er adgangen til økologisk gødning. Hvis ikke man kan være sikker på at have næringsstoffer nok til den økologiske drift, vil en økologisk omlægning være økonomisk risikabel. Denne udfordring er særlig alvorlig i områder, hvor der er få økologiske husdyr. Økologiske bedrifter uden kvæg har også en udfordring i at få tilstrækkelig kløver i sædskiftet til at skaffe kvælstof nok til at få gode kornudbytter. Tilsvarende gælder for økologiske planteavlsbedrifter, der må bruge konventionel husdyrgødning for at have gødning nok til højværdiafgrøder som grønsager og frøgræs.

En løsning på disse udfordringer kunne være, at man på sådanne bedrifter dyrker kløvergræs og sender det til afgangning i biogasanlæg. Derved vil man kunne få en større økonomisk værdi af kløvergræsset som grøngødningsafgrøde og samtidig vil man have en forsyning af økologisk gødning med en høj kvælstofvirkning.

Det er ikke mindst Østdanmark, hvor disse forhold gør sig gældende. I dette projekt er der derfor samlet data fra tre store økologiske planteavlsbedrifter på Sjælland og undersøgt, hvilke typer biogasanlæg, der vil være velegnede til at omsætte de plantebiomasser og den husdyrgødning, de kan levere til biogas.

2. Undersøgelsesmetode

Tre store økologiske planteavlere på Sjælland blev kontaktet, og der blev lavet en opgørelse over de biomasser (gødning og planteprodukter), som de kunne levere til biogasproduktion, hvis der blev etableret et biogasanlæg i nærheden.

Derefter blev der lavet en oversigt over de samlede biomasser, som de tre gårde ville kunne levere til biogasanlægget og denne oversigt blev sendt til 12 forskellige virksomheder i Danmark og Tyskland, der leverer biogasanlæg, og de blev bedt om at komme med forslag til anlæg, der ville kunne afgasse biomasserne fra de sjællandske gårde.

Seks af de kontaktede firmaer har leveret forslag til projektet og vil blive beskrevet i denne rapport.

Der er også regnet økonomi på et tænkt biogasprojekt for de tre sjællandske gårde, hvor tilbuddene fra de seks firmaer er blevet sammenlignet. Den økonomiske sammenligning er beskrevet i en særskilt rapport, mens anlægstyperne er beskrevet teknisk i denne rapport.

I bilag 1 findes en liste over de medvirkende økologiske planteavlsbedrifter og de kontaktede biogasfirmaer.

De materialer, som de tre gårde kunne levere og som anlæggene skulle behandle er vist i tabel 1.

Tabel 1: Biomassegrundlag for biogasanlæg til tre sjællandske planteavlsbedrifter

Økologiske plantebiomasser	Tørstof %	Kg N per ton	Kg P per ton	Kg K per ton	FM ton
Kløvergræs	37,9	9,88	1,25	9,59	1.985
Halm + Kløvergræs (efterafgrøde)	42,3	5,03	1,02	11,58	1.470
Frøgræshalm	85,0	9,11	0,94	12,75	1.280
Halm	85,0	5,44	0,68	14,45	1.200
Vedvarende græs	37,1	9,02	1,37	10,39	410
Gulerødder - frasortering og top	17,6	2,68	0,33	4,01	300
Afpudsning - frøgræs	34,7	8,99	1,08	10,24	220
Korn frarens	85,0	14,42	2,89	5,02	200
Gul sennep (efterafgrøde)	15,5	4,06	0,64	4,42	150
Total					7.215

Økologisk husdyrgødning	Tørstof %	Kg N per ton	Kg P per ton	Kg K per ton	FM ton
Fast gødning - kvæg	27,5	8,50	2,50	5,00	3.000
Kvæg-gylle	8,0	3,50	0,80	3,20	2.000
Dybstrøelse - kvæg	27,5	8,50	2,50	5,00	600
Total					5.600

Supplerende konventionel husdyrgødning	Tørstof %	Kg N per ton	Kg P per ton	Kg K per ton	FM ton
Svine-gylle	4,0	4,00	0,90	1,60	32.000
Dybstrøelse - kvæg	27,5	8,50	2,50	5,00	3.100
Dybstrøelse - svin	25,3	11,00	4,00	5,00	600
Fjerkrægødning	45,0	21,00	7,00	2,00	500
Kvæg-gylle	8,0	3,50	0,80	3,20	400
Total					36.600

Indholdet af næringsstoffer i plantebiomasserne er udregnet fra NorFor fodermiddeltabeller og tilsvarende er indholdet i gødningerne beregnet fra gødningstabeller.

Anlægsleverandørerne fik mulighed for at ændre på sammensætningen inden for den ramme som biomasserne fra de tre gårde udgjorde. Fx at bruge en større andel gylle, hvis det er nødvendigt for at deres anlæg vil kunne fungere optimalt. De måtte også gerne forudsætte en større mængde biomasse totalt set, hvis det skønnes nødvendigt for at få en rentabel drift af anlægget. Forholdet mellem biomasserne skulle dog holdes som i udgangspunktet, og de økologiske biomasser skulle prioriteres højest.

Hvis anlægget skal have større mængder biomasse forestiller man sig, at flere lignende bedrifter tilslutter sig biogasanlægget.

3. Præsentation af seks forskellige biogasanlæg

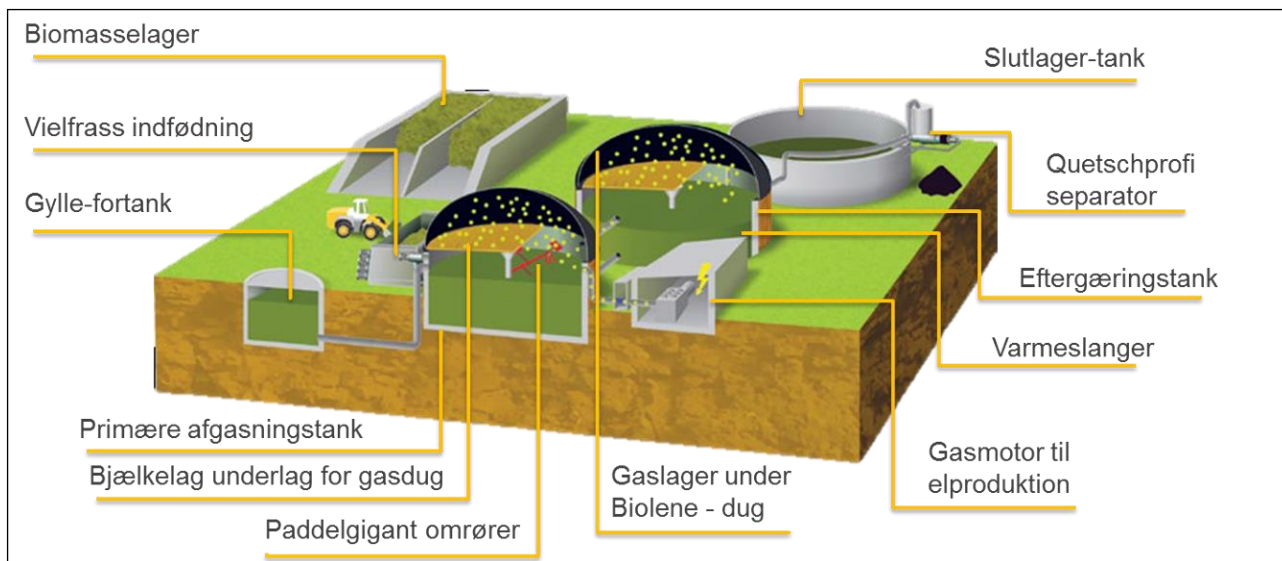
Anlæggene kan opdeles i fire forskellige typer:

- Typisk våd-fermenteringsanlæg (som det kendes fra anlæg der primært omsætter gylle)
agriKomp og ComBigaS repræsenterer denne type anlæg.
- Modificeret våd-fermenteringsanlæg (hvor det er muligt at anvende større mængder af faste biomasser)
Sauter anlægget repræsenterer denne type anlæg.
- Plug-flow-anlæg (hvor biomassen ikke pumpes rundt, men langsomt bevæges gennem fermenteringstanken)
Dranco og KompoGas repræsenterer denne type anlæg
- Garrage-anlæg (er egentlige tør-fermenteringsanlæg, hvor faste biomasser afgasses i lukkede bokse, hvor biomassen er stablet op)
Aikan-anlægget repræsenterer denne type anlæg.

3.1 Vådfermenteringsanlæg – agriKomp og ComBigaS

3.1.1 agriKomp – anlægget

I figur 1 er vist opbygningen af et typisk agriKomp-anlæg.



Figur 1: Elementerne i et agriKomp-anlæg

Biomasser til projektanlægget

(agriKomp har brugt lidt andre biomassebetegnelser end angivet i projektoplægget)

Biomasse	Tons pr. år
Kløvergræs (30 % TS)	2.985
Græsensilage (35 % TS)	1.000

Halm (86 % TS)	1.670
Plantemateriale fra landskabspleje (50 % TS)	1.280
Kvæg-gylle (8,5 % TS)	2.000
Fast kvæggødning (25 % TS)	3.600
I alt	12.535
<i>Økologiske biomasser i projektoplægget</i>	<i>12.815</i>

Der er således budgetteret med et anlæg, der håndterer samtlige de økologiske biomasser fra de tre gårde, og den afgassede gødning får derved fuld økologisk status.

Gasproduktion

Gasproduktionen har agriKomp beregnet til 904.000 m³ metan pr. år. Svarende til 73,9 m³ metan pr. ton biomasse.

Projektanlæggets opbygning

Det anlæg som agriKomp-firmaet foreslog til projektet består af følgende elementer:

- To primære afgasningstanke af beton på hver 1520 m³ med gasopsamling under en top af gastæt dug.
Indføddningen af biomasser og gødning sker fra
 - En fortank til gylle, hvor der er monteret en neddykket omrører (9kW) og en skruepumpe (11 kW) til inpumpning i biogastanken.
 - Et biomassedoceringsanlæg "Vielfrass" med oprivervalser og snegle (? kW) til at bringe plantemateriale og fast gødning ind i biogastankene.
 Omrøring sker med to Paddelgigant omrørere (2 x 15 kW).
Opvarmning foregår med 32 kredse af plast-varmeslanger monteret på indersiden af tanken.
Tanken er isoleret på siderne med 8 cm polystyrenskum.
En excenterskruepumpe (9,2 kW) sørger for at pumpe det afgassede materiale til næste tank.
- En eftergæringstank af beton på 1880 m³. Den er udrustet som de primære tanke (bortset fra indføddningsudstyret)
- En Quetschprofi separator (2,2 kW) til at skille fibermateriale fra det afgassede.
- Lagertank af beton på 6840 m³ til opbevaring af det afgassede materiale. Leveres uden overdækning, men forberedt for teltoverdækning.



Figur 2: Vielfrass indfødningsystem



Figur 3: Afgasningstank indefra med paddelgigant-omrørere, bjælkelag og varmeslanger



Figur 4: Quetzprofi-sparator

Projekt-anlægget er planlagt med to primære afgastningstanke. Det skal gøre det muligt at køre med forskellige blandinger i de to tanke. Derved kan man optimere tørstofindhold, ammonium-indhold, temperatur og opholdstid, idet nogle materialer er langsomt nedbrydelige og kræver lang opholdstid andre materialer med højt kvælstofindhold udskiller meget ammonium og skal afgasses ved lavere temperatur for at undgå ammoniakhæmning af biogasprocessen.

agriKomp angiver, at anlægget kan køre både mesofilt (omkring 40° C) og termofilt (godt 50° C)

Den samlede opholdstid for biomassen gennem den primære tank og eftergæringstanken er beregnet til ca. 120 dage.

Energiforbrug til opvarmning er ikke angivet. Der er regnet med at der er rigelig varme fra gasmotoren til at opvarme afgastningstankene.

agriKomp angiver at anlæggets elforbrug ved optimal drift kan holdes nede på 5 % af elproduktionen fra gassen.

For at kunne pumpe med biomassen mellem tankene må tørstofindholdet ikke være højere end ca. 15 %. Da biomassernes tørstofindhold generelt er højere end det, separeres fibre fra en del af det afgassede materiale, og væsken returneres til den primære reaktor. Den biologiske nedbrydningsproces i tankene gør også materialet mere pumpbart.

Køberen af agriKomp-anlægget skal selv sørge for etablering af betontanke, tilkørselsforhold mv.

Kontaktoplysninger:

[agriKomp-anlæggene](#) forhandles i Danmark af [Jørgen Hyldgaard Staldservice A/S](#)
(linkene henviser til virksomhedernes hjemmesider)

3.1.2 ComBigaS-anlægget



Figur 5: Projekt-anlægget fra ComBigaS

Biomasser til projektanlægget

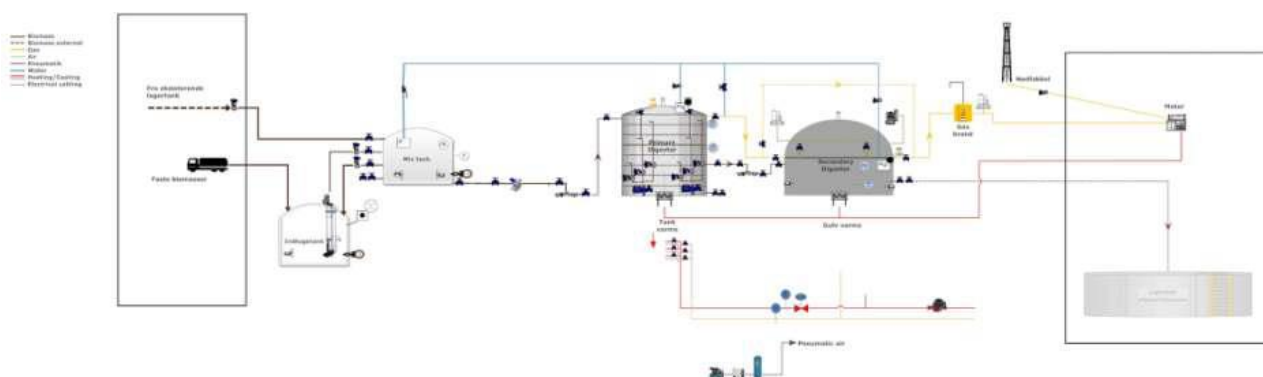
Biomasse	Tons pr. år	Tons pr. år (Projektplanlægget)
<i>Svine-gylle (Konventionel)</i>	32.000	32.000
Kvæg-gylle	2.400	2.000
Fast gødning og dybstrøelse - kvæg	3.600	3.600
Kløvergræs	1.985	1.985
Halm + Kløvergræs (efterafgrøde)	1.470	1.470
Frøgræshalm	1.280	1.280
Halm	1.200	1.200
Vedvarende græs	410	410
Gulerødder - frasortering og top	300	300
Afpudsning - frøgræs	220	220
Korn frarens	200	200
Gul sennep (efterafgrøde)	150	150
Recirkulat	2.500	-
I alt	47.715	44.815

Der er tilført hele den tilgængelige mængde konventionelle svinegylle for at opnå en tilstrækkelig lav tørstofprocent (13,9) i afgangstanken. Derved bliver økologiprocenten i det afgassede omkring 42 %. ComBigaS lavede også en beregning, hvor den konventionelle svinegylle var begrænset til 4.500 t og der til gengæld var anvendt 15.000 t recirkulat. Det forbedrede økologiprocenten til 85 %; men tørstofindholdet var alt for højt (26,4). Der skulle derfor tilføres yderligere vand, hvis det skulle kunne fungere.

Gasproduktion

Gasproduktionen har ComBigaS beregnet til 1.499.425 m³ metan pr. år. Svarende til 33,2 m³ metan pr. ton tilført biomasse (recirkulat ikke medregnet).

Projektanlæggets opbygning



Projektanlægget fra ComBigaS består af følgende dele:

- Indtagetank (76,3 m³), der består af en nedgravet betontank, hvor de faste biomasser bliver opblandet med væske fra den efterfølgende mixtank, og hvor en knivpumpe neddeler biomassen ved tilbagepumpningen til mixtanken. To pumper (2 x 18,5 kW)
- Mixtank (1.036 m³), der er en betontank med to propelomrørere (2 x 18,5 kW) samt en macerator (5,5 kW). Isoleret med 10 cm udvendig isolering. Tanken fungerer som en buffertank, så anlægget ikke skal have tilført fast biomasse i fx weekender. En excentersnekkepumpe (15 kW) pumper materialet til næste tank. Ved overpumpning til afgasningstanken bliver materialet yderligere neddelt af maceratoren.
- Primær reaktortank (2.500 m³). Tanken er bygget i galvaniseret stål og er isoleret udvendig med 20 cm mineraluld under en metalyderbeklædning. Omrøring foregår med 2 stk Landia Gasmix med chopperpumpe (2x30 kW). Omrøringen fungerer ved at materialet suges ud i bunden af tanken, neddeles i chopperpumpen og spules ind to steder i reaktoren samtidig med at der væskestrømmen tilføres gas fra toppen af reaktoren.
Et varmegalleri med seks kredsløb sørger for opvarmning af biomassen.
En excentersnekkepumpe (15 kW) pumper materialet til næste tank.
- Sekundær reaktortank (2.600 m³). Denne tank er i beton med en dobbeltmembran gasdug over, der fungerer som gaslager (1.500 m³). Isoleret udvendig med polystyrenskum (5 cm under og 10 cm på yderside). Gulvvarme-slanges er støbt ned i tankens bund. I tilknytning til sekundærtanken er en udleveringstank med en diameter på 250 cm hvorfra det afgassede kan pumpes op og transporteres til decentrale lagertanke.

Den primære reaktor kører termofilt (50-53° C) mens sekundærreaktoren kører mesofilt (ca. 40° C). Derved kan afgasningsprocessen køre relativt hurtigt. Opholdstiden er anslået til ca. 39 dage i de to reaktorer. Kun 10 % af gasproduktionen forventes at komme fra sekundærreaktoren.

Energi til opvarmning er beregnet til 38 % af den varme, der vil blive produceret, når den producerede gas brændes af i en gasmotor til el-produktion.

Den afgassede biomasse forventes at have en tørstofprocent på ca. 8 %, nogenlunde som kvæggylle.



Figur 6: Et ComBigaS-anlæg



Figur 7: Indtag til faste biomasser foran mixtank

Kontaktoplysninger:

[ComBigaS](#) er en dansk virksomhed. Kontaktoplysninger findes via det indsatte link.

3.2 Modifieret våd-fermenteringsanlæg – Sauter

Sauters anlæg bygger på et andet princip end det typiske våd-fermenteringsanlæg, hvor hele reaktorindholdet holdes omrørt. I Sauter-systemet har man større reaktortanke og indfører den faste biomasse gennem en stor tragt, der kan læsses med en frontlæsser.

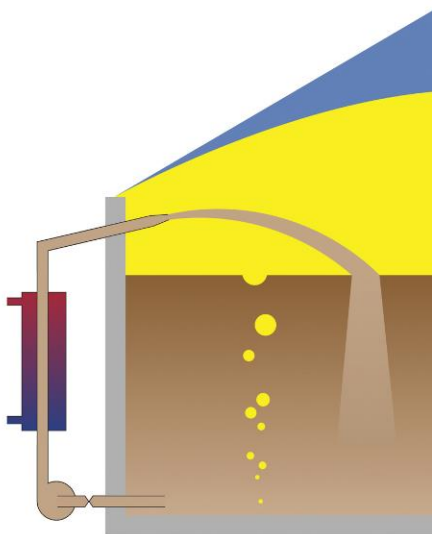


Figur 8: Indføding af faste biomasser i Sauter-anlæg

Biomasserne flyder langsomt ud i tanken, og der dannes horisontale lag, hvor der foregår hydrolyse nærmest indfødingen og materialet bliver mere og mere flydende jo længere ned i tanken det kommer. I de nedre lag foregår metandannelsen.

I stedet for omrøring pumpes det flydende i bunden op gennem bevægelige dyser, således at det oversiden af biomasserne i toppen af tanken bliver overrislet.

Da systemet trods alt bygger på pumpning af væske må den tilførte biomasse ikke overstige 40 % tørstof i gennemsnit og kvælstof-indholdet må ikke overstige 10 kg N pr. ton tilført materiale.



Figur 9: Overrislingssystem og dyse i Sauter-anlæg. Opvarmning sker gennem ekstern varmeveksler.

Biomasser til projektanlægget

Biomasse	Tons pr. år	Tons pr. år (Projektoplægget)
Kløvergræs (37,9 % TS)	6000	1.985
Halm + Kløvergræs (efterafgrøde)		1.470
Frøgræshalm		1.280
Halm (85 % TS)	600	1.200
Vedvarende græs		410
(Gulerødder) Grønsagsrester (17,6 % TS)	600	300
Afpudsning - frøgræs		220
Korn frarens		200
Gul sennep (efterafgrøde) (15,5 % TS)	3.200	150
Recirkulat (5 % TS)	1.000	-
I alt tilført	10.400	7.215

Sauters har valgt kun at bruge de økologiske plantebiomasser, da det var hovedmålsætningen for projektet. Til gengæld har de valgt at ændre noget på plantesammensætningen, således at der skal produceres tre gange så meget kløvergræs og 20 gange så meget efterafgrøde, som beskrevet i projektoplægget. Derved har de opnået, at få et gennemsnitligt tørstofindhold på ca. 32 % i input-materialet.

Når materialet tømmes fra den sekundære afgangstank til slutlagertanken går det gennem en separator, der skiller fibre fra væsken. De 10.400 t input bliver til ca. 6000 t fraseparerede fibre (25 % TS) og 3300 t flydende afgasset væske (5 % TS), hvoraf 1.000 t bruges som recirkulat (væsketilførsel) i den første biogastank.

Gasproduktion

Gasproduktionen har Sauters beregnet til 897.042 m³ metan pr. år. Svarende til 86,4 m³ metan pr. ton tilført biomasse (recirkulat ikke medregnet).

Projektanlæggets opbygning

Projektanlægget består af primær biogastank og en sekundær afgangstank, som også fungerer som slutlagertank. De to afgastningstanke er forsynet med gasdug, der fungerer som lager for den producerede biogas.

Opholdstiden i reaktoren er lang (godt 200 dage), hvorved alle biomasser bliver stærkt nedbrudt og gasudbyttet for en given mængde biomasse kan blive større end i andre systemer.

Den enkle opbygning giver et lille elforbrug på anlægget – sat til 5 % af den strøm, den tilknyttede elgenerator vil kunne producere. Opvarmning sker med varme fra gasmotoren. Varmebehovet er beregnet til 52 % af gasmotorens varmeproduktion.

Anlægget kan køre både ved mesofil og termofil temperatur. Ved høje kvælstofniveauer skal det køre mesofilt.



Figur 10: Sauter-anlæg. Forreste tank er primærreaktor med indfødningstragt. Spuledyser på siden af reaktorer.

Kontaktoplysninger:

Klik på dette link for at komme til [Sauters](#) hjemmeside. Firmaet ligger i Tyskland.

3.3 Plug-flow-anlæg: Dranco og KompoGas

Plug-flow-systemer arbejder på den måde, at biomassen bevæger sig som en "prop" gennem reaktortanken, mens nedbrydningen finder sted. Det er fordelagtigt, når biomasserne har så højt tørstofindhold (over 15 % TS), at det ikke kan lade sig omrøre. Der er dog stadig en overgrænse for tørstofindholdet og strukturen af biomassen, da den stadig skal kunne bevæges gennem anlægget.

3.3.1 Dranco – Farm



Dranco-Farm konceptet består blot af én høj reaktor i form af en isoleret metalsilo med konisk bund. Biomassen føres ind i et blandedanlæg placeret under silo-reaktoren. Her blandes den nye biomasse med delvist afgasset biomasse fra bunden af reaktortanken, hvorved den nye biomasse bliver effektivt podet med biogas-bakterier. For hvert ton ny biomasse tilsættes 6 – 8 tons afgasset biomasse, og samtidig tilføres varme til den nye biomasse, idet den afgassede biomasse passerer en varmeveksler, der er opvarmet med varme fra den gasmotor, der driver en el-generator.

Processen kan køre både mesofilt og termofilt. Ved termofil drift opnås en hurtigere nedbrydning af materialet, således at der kan fødes mere biomasse ind pr. enhed reaktortvolumen.

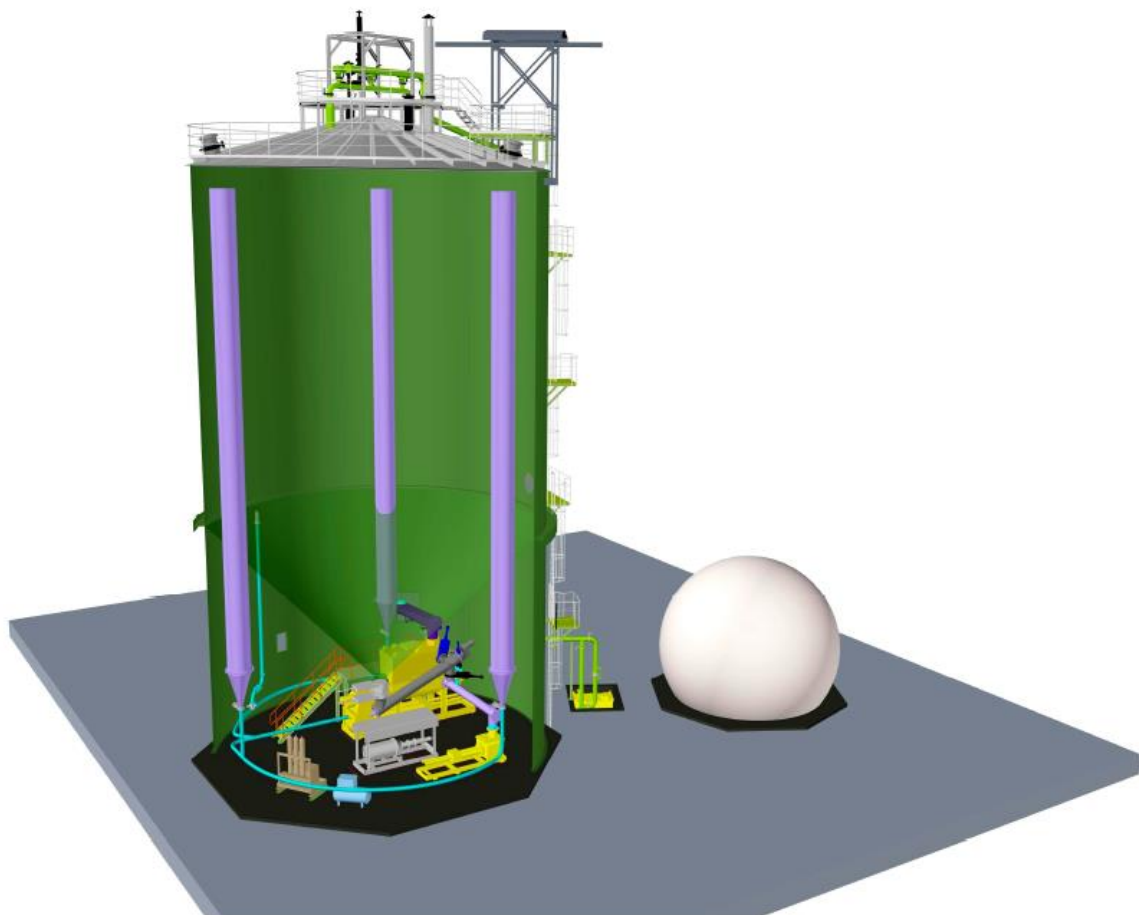
Efter opblanding og opvarmning pumpes blandingen op til toppen af reaktortanken gennem tre store rør, der er 1 meter i diameter og munder ud ca. 1 meter under siloens tag. Pumperne er i stand til at pumpe materiale med op til 40 % tørstof. Den maksimale partikelstørrelse pumperne kan klare er 40 mm.

Fra udløbet af oppumpningsrørene flyder biomassen ud og synker nedad i takt med, at der tømmes biomasse ud i bunden af reaktoren. Passagen gennem siloen tager typisk 2-4 dage og den gennemsnitlige opholdstid er 20 dage. Det vil sige, at biomassen i gennemsnit passerer gennem anlægget 5-10 gange, inden det pumpes videre til lagertank for det afgassede.

Tørstofindholdet i det afgassede ligger mellem 20 og 40 % alt efter biomassens nedbrydelighed. For plantester og fast gødning ligger det omkring de 20 %.

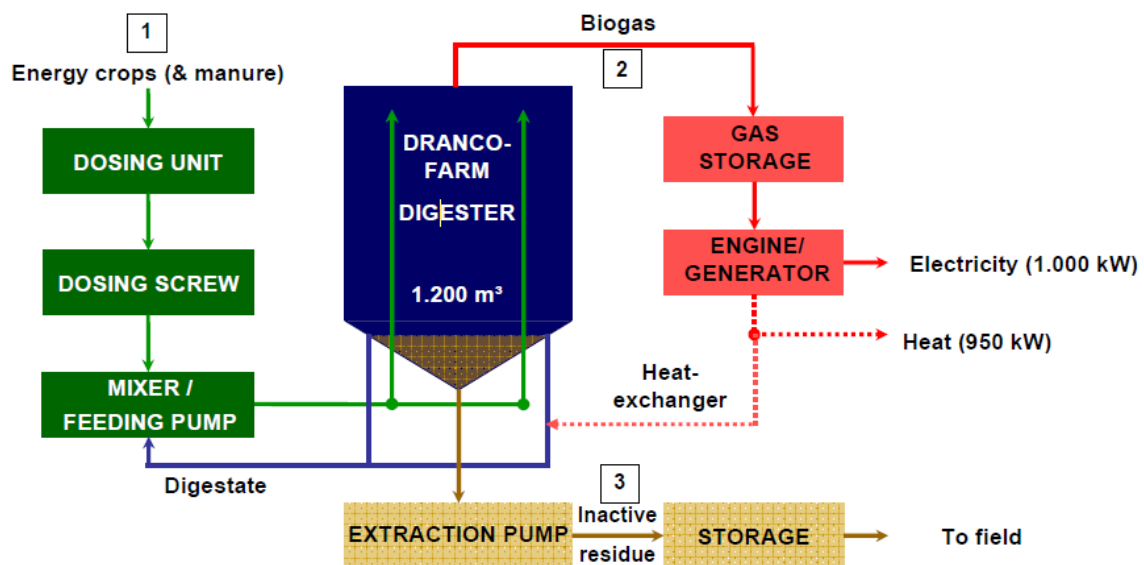
Det afgassede kan separeres i en fiber- og en væskedel for at gøre det lettere at udbringe gødningen.

Biogassen udvikles under biomassens vej gennem reaktortanken, siver op gennem materialet og går ud af anlægget gennem gasrør i toppen af reaktoren.



Figur 11: Opbygningen af en Dranco-Farm reaktor

Der er ikke leveret noget konkret forslag til et projektanlæg; men i nedenstående figur er vist modellen for et tysk anlæg, der omsætter tilsvarende biomasser (Majsensilage, græsensilage, kyllingegødning mv.)



Figur 12: Principskitse for Dranco-Farmanlæg der afgasser plantebiomasser og gødning. Størrelsen er designet til at omsætte 21.200 t biomasse pr. år.

Biomasser til projektanlægget

Biomasse	Tons pr. år	Tons pr. år (Projektoplægget)
Kløvergræs (37,9 % TS)	3.970	1.985
Halm + Kløvergræs (efterafgrøde)	2.940	1.470
Frøgræshalm	2.560	1.280
Halm (85 % TS)	2.400	1.200
Vedvarende græs	820	410
(Gulerødder) Grønsagsrester (17,6 % TS)	600	300
Afpudsning - frøgræs	440	220
Korn frarens	400	200
Gul sennep (efterafgrøde) (15,5 % TS)	300	150
Fast gødning - kvæg	6.000	3.000
Kvæg-gylle	4.000	2.000
Dybstrøelse - kvæg	1.200	600
Svine-gylle (Konventionel)	15.000	32.000
I alt	40.630	44.815

Dranco-firmaet har valgt at fordoble biomasse mængderne for at få et tilstrækkeligt stort anlæg. De har også valgt at tilføje 15.000 ton konventionel svinegylle for at få en passende tørstofprocent. Den bliver på ca. 27 % og økologiprocenten bliver ca. 76 %.

Teoretisk skulle anlægget kunne køre alene med de økologiske biomasser, hvor tørstofprocenten ville lande på ca. 40 %.

Gasproduktion

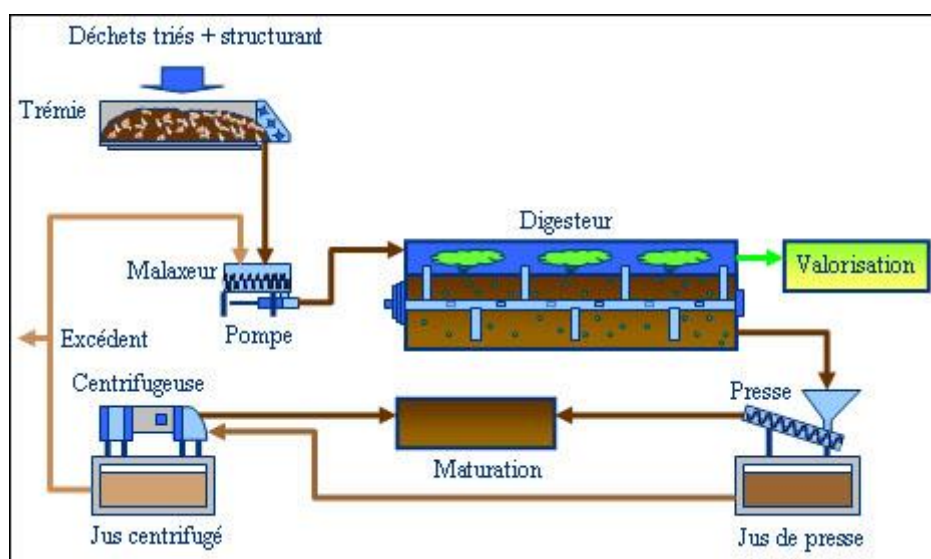
Dranco-firmaet har beregnet den årlige gasproduktion til 2.342.682 m³ metan. Svarende til 57,7 m³ metan pr. ton biomasse.

Kontaktoplysninger:

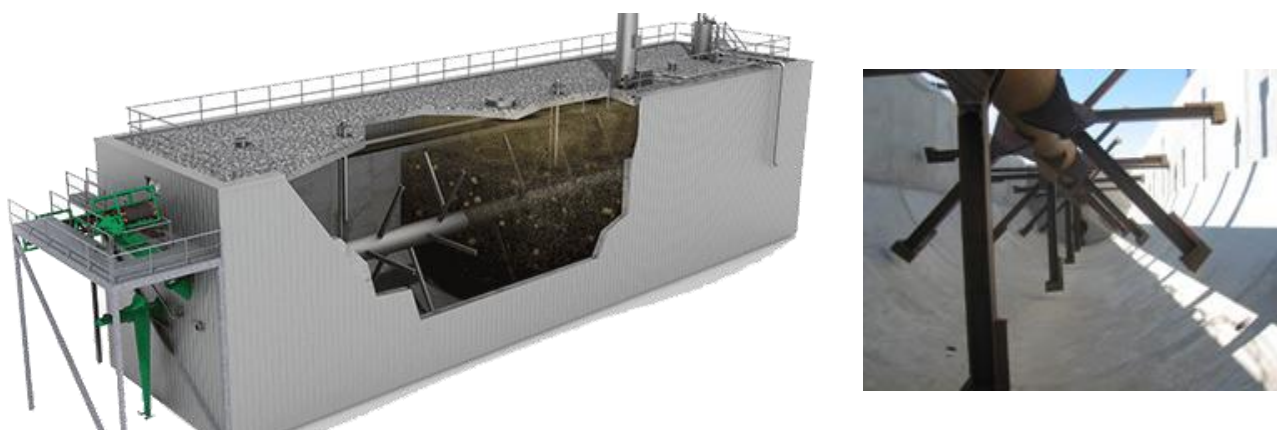
Klik på dette link for at komme til hjemmesiden for [Dranco-Farm](#). Systemet leveres af firmaet OWS, der ligger i Belgien.

3.3.2 Kompostgas

Kompostgas' system er bygget op om en horisontal plug-flow-reaktor, hvor frisk, neddelte biomasse blandet med recirkuleret væske pumpes ind i den ene ende, og ved hjælp af langsomt roterende padler skubbes massen gennem reaktoren i løbet af 15 - 20 dage, hvorefter det afgassede pumpes ud af reaktoren til en skruepresse, der opdeler materialet i en fiberdel og en væskedel.



Figur 13: Principskitse for Kompostgas-anlæg



Figur 14: Den horisontale afgassningstank med langsomt gående padler



Figur 15: Kompogasreaktor i stål. På siden ses lange tilførselsrør med varmevekslere.



Figur 16: Skuepressere til afvanding af den afgassede biomasse.

Biomassen, der bruges, skal helst have en tørstofprocent på 20 – 50 % og en partikelstørrelse på ca. 40 mm. Der kan dog arbejdes med partikelstørrelser op til 200 mm. Hvis det tilførte materiale er for uensartet neddeles det først i en knuser hvorefter det går til en blandemaskine, hvor der tildeles væske – dels recirkulat fra den væske, der er skilt fra den afgassede biomasse i skuepressen, dels fra opsamlet regnvand eller frisk vand. Den recirkulerede væske sørger for, at den nye biomasse bliver podet effektivt med de mikroorganismer, der arbejder i reaktoren.

I projekteksemplet, er der regnet med tilførsel af ca. 20.000 t fast biomasse (plantemateriale og fast gødning). Det passer til et af deres mindre anlæg på 1.500 m³ og vil kræve, at der findes knap dobbelt så meget plantebiomasse, dvs. at der er behov for at finde et par bedrifter mere til projektet.

Der er ikke anvendt noget af den gylle, som var med i projektoplægget. Hvis man gerne vil afgasse den også, skal der etableres et traditionelt vådforgasningsanlæg ved siden af.

Kompogas har beregnet den gennemsnitlige tørstofprocent i den tilførte biomasse til 44,7 % og tilsætter 13.900 tons recirkulat og 4.600 tons vand til de 20.000 t biomasse, hvorved tørstofprocenten i reaktoren bliver 23,3 %.

Materialet pumpes op til enden af reaktoren gennem et 20 meter langt rør hvorom der er en yderrør med varmt vand, hvorved materialet har behandlingstemperaturen 55° C (termofilt). Varmen kommer fra den gasmotor, der trækker en elgenerator.

Efter afgasning i reaktoren og afvanding i skruepressen vil der være et samlet output på 11.558 t fast materiale med 38 % tørstof og 9.442 t væske med 16 % tørstof.

Gasproduktion

Gasproduktionen har Kompogas beregnet til 1.376.435 m³ metan pr. år. Svarende til 68,8 m³ metan pr. ton biomasse.

Gasudbyttet er beregnet til 127 m³ biogas pr. ton

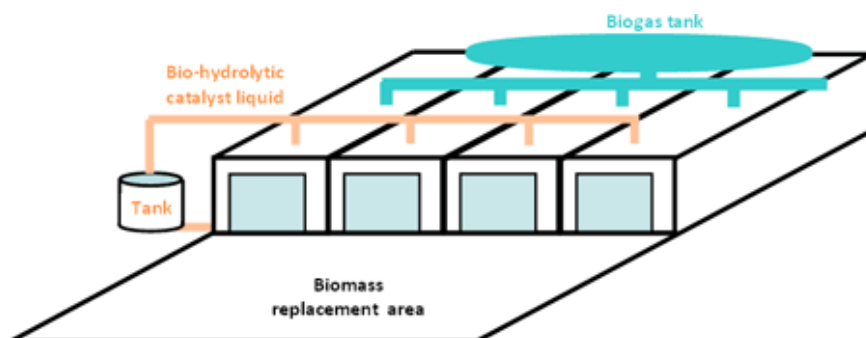
Energi til pumper mv. bruger 5 % af den producerede strøm, og opvarmning af biomasse og reaktor tager 14 % af den producerede varme (det er forudsat, at gassen brændes i en gasmotor til kraft-varmeproduktion)

Kontaktoplysninger:

Klik på dette link for at komme til hjemmesiden for [Kompogas](#). Systemet leveres af firmaet Axpo Kompogas AG, der ligger i Schweiz.

3.4 Tørfermenteringsanlæg – garageanlæg

Princippet i et garageanlæg til tørfermentering er, at biomassen placeres i store køresiloer, der er lukket med loft og en lufttæt port. Når siloen er fyldt og lukket bliver biomassen overbruset med en væske (perkolat), der er mættet med biogasbakterier og siver ned gennem biomassen, hvorefter den returnerer til en biogastank, hvor de organiske stoffer, der er fuldt med væsken, omdannes til biogas. Desuden udvikles også biogas i garagerne. Når biogasproduktionen er afsluttet, åbnes garagen og tømmes.



Figur 17: Principskitse for biogas-garage-anlæg

Den afgassede biomasse bliver derefter ofte komposteret i lange miler.

3.4.1 Aikan-anlægget

Anlægget består hovedsagligt af to dele, et procesmodul og en gas reaktor tank. I disse to dele forgår hele processen med at omdanne den faste biomasse, til biogas og næringsholdigt kompost.

Processen deles op i tre trin:

1. Hydrolyse,
2. Metan produktion og
3. Kompostering.

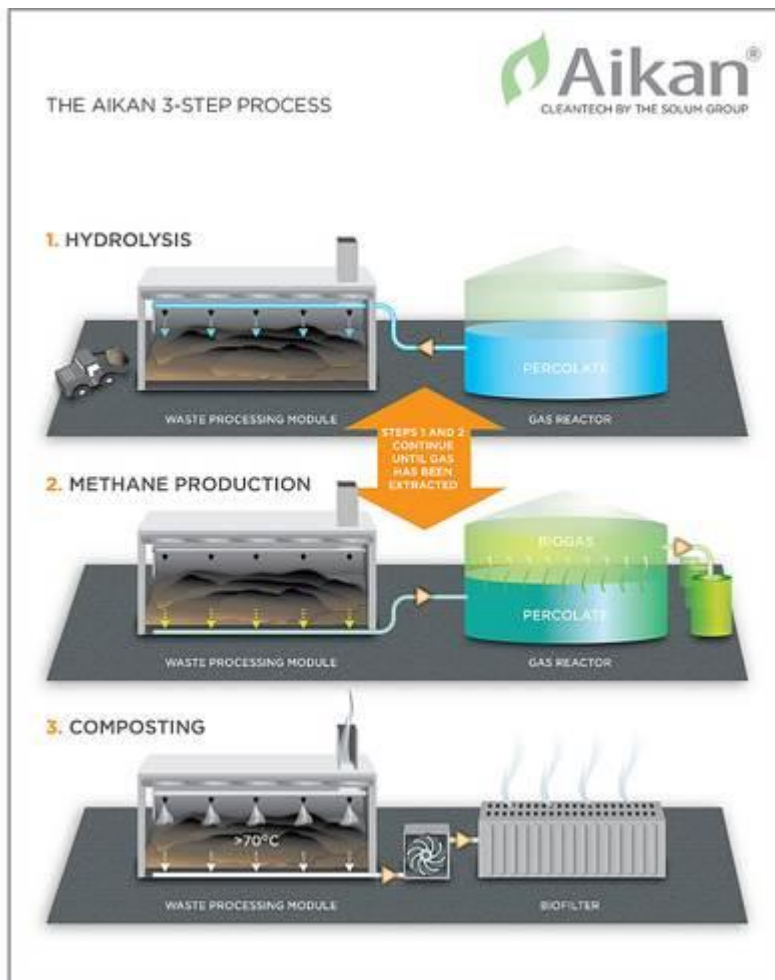
Processen startes ved at der indføres fast biomasse i procesmodulet, hvorefter det lukkes og forsegles, således at modulet er lufttæt.

Herefter starter 1. Hydrolysen ved at afgasset perkolat-væske fra gasreaktor-tanken, pumpes over i procesmodulet og spredes ud over den faste biomasse. Dette starter bakteriel hydrolyse, hvor fedtsyrer trækkes ud af biomassen, og løber med perkolatet ned i bunden af procesmodulet. Herfra pumpes perkolatet, der indeholder fedtsyrer fra biomassen, tilbage over i reaktortanken. Nu begynder trin to: 2. Metan produktionen, hvor fedtsyrerne i reaktortanken nedbrydes og omdannes til metan, via naturlig anaerob nedbrydning. Når fedtsyrerne er nedbrudt til gas, stiger gassen op fra perkolatet, og op i toppen af reaktortanken, hvor det aftappes. Hydrolysen og metanproduktionen forgår kontinuerligt, og afsluttes først når der ikke er potentiale for metan produktion i perkolatet. Dette tager oftest nogle uger.

Til projektanlægget er angivet 14 dage til trin 1, 14 dage til trin 2 og 21 dage til trin 3.

I de forsøg, der er lavet i projektet med økologiske biomasser på Aikananlægget, er der brugt 10 uger for de tre trin.

Når metanproduktionen er sluttet, afsluttes trin 1 og 2, og trin 3 begynder. Procesmodulet vil nu blive anvendt til at kompostere den tilbageværende afgassede biomasse. Dette gøres ved aktiv ventilation af modulet. Herved opnås en hurtig og effektiv kompostering. Luften, der trækkes ud af boksen renses gennem et biofilter.



Den sidste del af komposteringen sker i store udendørs køresiloer, der også kan beluftes. Hele processen ender med et fint kompostprodukt. Til landbrugsformål kan den afgassede biomasse evt. udbringes som den er lige fra boksen.

I et sådant garageanlæg er der ingen overgrænse for hvor højt tørstofindholdet i biomassen kan blive, da væsken tildeles via overbrusning. Til gengæld skal materialet have en god struktur, der ikke synker sammen til en fast masse under processen, hvis det sker, kan perkolatet ikke trænge gennem materialet og trække de organiske stoffer ud til biogasproduktion. Når anlægget afgasser kildesorteret husholdningsaffald blandes det således med træstumper fra et nærliggende komposteringsanlæg.



Figur 18: Tømning af boks for afgasset og forkomposteret materiale samt silo til efterkompostering

Biomasser til projektanlægget

Biomasse	Tons pr. år	Tons pr. år (Projektoplægget)
Kløvergræs (37,9 % TS)	2.200	1.985
Halm + Kløvergræs (efterafgrøde)	2.200	1.470
Frøgræshalm	1.500	1.280
Halm (85 % TS)	1.500	1.200
Vedvarende græs	500	410
(Gulerødder) Grønsagsrester (17,6 % TS)	500	300
Afpudsning - frøgræs	250	220
Korn frarens	200	200
Gul sennep (efterafgrøde) (15,5 % TS)	150	150
Fast gødning - kvæg	3.000	3.000
Kvæg-gylle	3.000	2.000
Dybstrøelse - kvæg	1.000	600
Dybstrøelse – kvæg (konventionel)	3.500	3.100
Dybstrøelse – svin (konventionel)	1.000	600
I alt	20.500	16.515

Aikan har lavet en mindre justering af mængden af biomasser i forholdet til projektoplægget og har opnået en tørstofprocent for blandingen på ca. 36 % og en økologiprocent på ca. 73%.

Hvis der kan skaffes tilstrækkelig med økologiske plantebiomasser, vil biomassen kunne bestå udelukkende af økologiske materialer.

Gasproduktion

Gasproduktionen har Aikan er beregnet til 712.646 m³ metan pr. år. Svarende til 34,8 m³ metan pr. ton biomasse.

Kontaktoplysninger:

Læs mere på hjemmesiden for [Aikan-teknologien](#). Aikan Technology er dansk og ejes af [Solum-gruppen](#).

4. Overvejelser om valg af anlægstype

Gennemgangen af de seks anlægstyper viser, at alle de viste anlæg kan omsætte de biomasser, som var udgangspunktet i projektet. Nogle har kunnet bruge de anviste mængder direkte, andre har doblet op eller har tilpasset sammensætningen for at få det til at passe bedre med anlæggets teknologi og størrelsesøkonomi.

Man skal derfor være varsom med at sammenligne resultaterne fra de forskellige anlæg.

I det følgende er dog søgt at uddrage nogle karaktertræk, der kan være nyttige at have med i overvejelserne, når man skal finde en anlægsleverandør til biogasanlæg, der overvejende skal afgasse biomasser med højt tørstofindhold.

Pris og driftsøkonomi er naturligvis også en særdeles afgørende faktor. Det er eksemplificeret i en anden rapport. [Se her](#)

Tabel 2: Karakteristika fra de undersøgte anlæg. Bemærk at der er forskel mellem anlæggene i blandingforholdet af tilførte biomasser.

	agriKomp	ComBigaS	Sauter	Dranco	Kompogas	Aikan
Biomasse i alt (ton)	12.535	45.215	10.400	40.630	20.015	20.500
Økologi %	100	42	100	76	73	73
Tørstof % i tilført biomasse	35,8	14,2	32,6	26,6	44,7	36,2
Metan (m ³ /t FM)	73,9	33,2	86,4	57,7	68,8	34,8
Metan (m ³ /t TS)	211	234	265	217	154	96
Metan i kløvergræsensilage (m ³ /t)	86	109	109	120	(69) ¹	36
Opholdstid (døgn)	122	39	209	20	15-20	49
Metan pr. døgn (m ³ /t TS/døgn)	1,7	6,0	1,3	10,9	8,5	2,0
Reaktortvolumen m ³ / 1000 tons biomasse	243	113	710	57	75	317
Arbejdstemperatur (Mesofilt / termofilt)	Mesofil eller Termofil	Termofil i 1. tank Mesofil i 2. tank	Mesofil eller Termofil	Mesofil eller Termofil	Termofil	Mesofil (evt. Termofil)

¹ Gennemsnit for alle biomasser

Mængde behandlet biomasse.

Tilførte mængder, opnået økologiprocent og gennemsnitligt tørstofindhold i de tilførte biomasser fremgår af de øverste linjer i tabel 2.

De to tyske anlæg, agriKomp og Sauter, er mindre anlæg, der er tilpasset til den foreliggende faste biomasse (I agriKomp-anlægget suppleret med den økologiske kvæggylle). Begge har derfor en økologiprocent på 100 %.

Disse anlæg kan let skaleres til en given mængde biomasse.

Det danske ComBigaS er også dimensioneret til de foreliggende biomasser, men er afhængig af en stor mængde svinegylle for at kunne pumpe og omrøre blandingen. I projekteksemplet, hvor der kun er konventionel svinegylle til rådighed, medfører det en økologiprocent på under 50 %.

ComBigaS har derfor regnet på, om man kunne erstatte det meste af den tilførte svinegylle med recirkulat fra eftergæringstanken. Det er desværre ikke nok til at komme ned på det maksimale tørstofindhold på 13 %. Der vil derfor være brug for at tilsætte vand, hvis anlægget skal kunne håndtere så store mængder plante-biomasse.

De to plug-flow-anlæg, Dranco og Kompogas, kan arbejde alene med de faste biomasser kombineret med recirkulat og vand (Dranco-anlægget har dog valgt at tage en del svinegylle med i blandingen); men det er dyrere anlægstyper og kræver derfor en større mængde biomasse for at kunne køre rentabelt.

De har i projekteksemplet valgt at tage en del af de konventionelle biomasser med, hvorfor de ikke når op på 100 % økologi; men hvis der havde været flere økologiske leverandører, ville det ikke have været nødvendigt.

Garageanlægget, Aikan, er tilsvarende dimensioneret til en lidt større mængde biomasse. Denne anlægstype kan også fint arbejde alene med de faste biomasser, idet der til gengæld er krav om en god struktur i materialet, så perkolatvæsken, der bruses over materialet, kan trænge ned, gennemvæde hele materialet og blive recirkuleret til en afgangstank. Her gælder som for plug-flow-anlæggene, at det ville kunne køre med 100 % økologiske biomasser, hvis der havde været en større økologisk leverandørkreds.

Gasproduktion

I tabel 2 er også vist, hvor meget metan de enkelte anlæg forventer at producere på de biomasser, der er tilført. Det er angivet i kubikmeter metan pr. tons tilført materiale.

Af vådfermenteringsanlæggene ligger ComBigaS lavest med en produktion på knap halvdelen af agrikomp og Sauters. Det skyldes, at ComBigaS har tilført store mængder svinegylle (ca. 70 % af den tilførte biomasse), og der er gasudbyttet væsentligt lavere end i plantebiomasserne. Det følger af kravet om let pumpbarhed. Forskellen ville blive endnu større, hvis man tilførte vand i stedet for gylle for at hæve økologiprocenten. De to tyske vådfermenteringsanlæg benytter også en væsentlig længere opholdstid (3 – 5 gange så lang som i ComBigaS-anlægget). Til gengæld kører ComBigaS-anlægget med termofil udrådning, hvorved gasen kommer hurtigere ud af materialet.

Sauter-anlægget fremhæver deres lange opholdstid som en sikkerhed for at de svært nedbrydelige biomasser bliver effektivt afgasset. Det fremgår ikke tydeligt i dette eksempel, hvor det kun er lidt bedre end agrikomp-anlægget, selvom opholdstiden er næste dobbelt så lang. Agrikomp-anlægget har endda brugt ret forsigtige gasudbytter (eksemplificeret i tabellen med gasudbyttet af kløvergræsensilage).

De to pluck-flow-anlæg (Dranco og Kompogas) har en gasproduktion lidt under de tyske vådfermenteringsanlæg (agriKomp og Sauter); men til gengæld en meget kortere opholdstid. Det sikres med en effektiv omrøring / ompumpning og for Kompogas' vedkommende med en termofil udrådning.

Ser man på gasudbyttet pr. tons tørstof pr. døgn ligger ComBigaS og plug-flow-anlæggene højt i forhold til de tre øvrige. For ComBigaS kan det forklares med den store mængde gylle, hvor der er meget let omsætteligt tørstof, kombineret med termofil udrådning, hvor processerne forløber hurtigere. For plug-flow-

anlæggene virker det derimod som om de har brugt meget optimistiske gasudbytter for de faste biomasser, når man tager den korte procestid i betragtning. Det kan delvist ses i linjen med metanudbytte i kløvergræs-ensilage, hvor Dranco-anlægget har vurderet det højt, mens der mangler information fra Kompogas.. Til gengæld har Aikan valgt at regne med meget forsigtige gasudbytter, og opnår derfor også et relativt lavt gasudbytte samlet set.

Kvælstofindhold og behandlingstemperatur

En særlig problemstilling, som man skal være opmærksom på, når der arbejdes med anlæg, der skal levere økologisk gødning, er biomassens kvælstofindhold.

For at få meget kvælstof til rådighed i den afgassede gødning, vil man gerne bruge meget kløverholdigt materiale samt husdyrgødning, hvis det er til rådighed. Et højt indhold af kvælstof i tanken kan medføre udskillelse af ammoniak, og det vil hæmme metan-dannelsen.

Som tommelfingerregel bør kvælstofindholdet i gennemsnit ikke overstige 10 kg kvælstof pr. ton tilført biomasse.

Er man tæt på den grænse bør man køre anlægget mesofilt, da ammoniakudskillelsen stiger med stigende temperatur.

En hver biomassesammensætning danner grobund for en særlig sammensætning af mikroorganismer. Der findes eksempler på anlæg, der har opbygget en effektiv mikroflora i biogastanken, der kan tåle et relativt højt kvælstofindhold. Skal man afgasse biomasser med højt N-indhold vil det være hensigtsmæssigt at få starterkultur fra anlæg, der kører med den type biomasser og man bør følge udviklingen nøje og undgå væsentlige skift i den tilførte biomasse.

Anlægsstørrelse

Reaktorvolumen pr. 1000 tons tilført biomasse er angivet i tabel 2.

Det følger nogenlunde biomassens opholdstid og påvirker anlæggets etableringsomkostninger.

Det vil blive nærmere belyst i rapporten med økonomiberegninger. [Se her](#)

Udnyttelse af energi og næringsstoffer

Det er ikke muligt ud fra projekt materialet at uddrage præcise tal for anlæggenes effektivitet med henblik på at sikre optimal energieffektivitet og næringsstoffudnyttelse. Der vil derfor i det følgende blot blive peget på nogle af de forhold, som det er vigtigt at få nærmere belyst, når man skal vælge anlægskoncept for nye biogasanlæg, der skal levere økologisk gødning.

Kvælstof er et helt centralt næringsstof for udbyttet på markerne, og det er den vigtigste faktor at have øje for, når økologiske landmænd skal vurdere værdien i at gå med i et biogasanlæg som biomasseleverandør og evt. som medejer.

En stor del af kvælstoffet i den biomasse, der tilføres til biogasanlægget, omdannes under afgasningen fra protein til ammonium, og dermed er det lettere optageligt for planterne. Samtidig ændres pH i materialet til omkring 8, og så kan ammonium let fordampe som ammoniak og derved gå tabt.

Når der fokuseres på at få mest mulig gødningskraft ud af biogasanlægget, skal der derfor også stor opmærksomhed på, hvordan man bevarer det dannede ammonium efter afgasningen.

I alle anlæggene undtagen ComBigaS og Aikan bliver det afgassede materiale separeret i en skruepresse, så man får en flydende og en fast fraktion. I ComBigaS, hvor man arbejder med en lavere tørstofprocent, er

der kun flydende gødning – i dette eksempel med ca. 8 % tørstof (som kvæggylle). I Aikan-anlægget er der kun fast gødning, svarende til fast husdyrgødning.

Både den flydende og faste gødning skal opbevares omhyggeligt, for at bevare kvælstofindholdet. For den flydende del sker det bedst i lukkede tanke eller i gylletanke med overdækning. Lave temperaturer er også med til at mindske fordampningen af ammoniak fra det afgassede. Nedfældning af den flydende gødning kan også sikre, at der kun sker små tab under udbringningen.

For den faste del er det sværere at undgå tab af kvælstof. Lave temperaturer og overdækning vil også her mindske fordampningen.

Hvis man vælger at kompostere den faste del af den afgassede gødning, må man regne med betydelige tab af kvælstof; men til gengæld får man en bekvem fast gødning, der påvirker jorden positivt, og som har lave kvælstoftab under udbringningen. Ikke komposteret gødning bør nedmuldes i jorden straks i forbindelse med udbringningen.

Man bør derfor sætte fokus på, hvordan biogasanlægget bliver indrettet til at tage vare på kvælstoffet i det afgassede materiale.

Af hensyn til klima-regnskabet bør der heller ikke være tab af metan fra det afgassede materiale. Man bør derfor også sikre sig, at materialet bliver effektivt udrådnet, så der ikke kan ske yderligere metanudskillelse, i det afgassede materiale efter det er kommet ud af reaktortankene. Her er kold opbevaring også en vigtig faktor.

Både for økonomien og for anlæggets klimamæssige værdi bør det også sikres, at den størst mulige del af biomassens energi bliver udnyttet positivt.

Mange energikrævende processer med store elmotorer betinger et stort el-forbrug på anlægget, og det taper af den el, som den producerede gas kan levere.

Flere af anlæggene pointerer, at de har et lavt elforbrug svarende til ca. 5 % af den producerede el, når gassen brændes af i en gasmotor til el-produktion.

Behovet for varme til opvarmning af frisk biomasse og til at holde reaktortankenes procestemperatur er også en vigtig faktor i energiregnskabet.

Tankene og rør til transport mellem tankene bør derfor være godt isoleret.

I flere af anlæggene har man et gaslager under en gasdug, der dækker reaktortankene. Det giver et større varmetab, end hvis man har fast og isoleret tag på afgangstankene. Gasdugene kan dog fås som to-lagsduge, der isolerer bedre, og på nogle anlæg er der et lag af træspær i toppen af den faste tank, hvor der kan etableres isolering.

Hidtil har der ikke været meget fokus på varmetab, da gasmotorerne ofte producerede langt mere varme, end anlægget og andre aftagere kunne udnytte.

I fremtiden vil der komme mere fokus på at opgradere gassen til at pumpe i naturgasnettet. Så bliver spørgsmålet om varmetab fra processen vigtigere. Pumperne, der tryksætter gassen til naturgasnettet, kan dog levere en vis varme, der kan anvendes til opvarmning på biogasanlægget, hvis kompressor-anlægget ligger i forbindelse med biogasanlægget.

Driftsledelse helt afgørende

Endelig må det pointeres, at intet anlæg er bedre end den driftsledelse, som det drives med.

Der er i alle anlæg en mængde processer, der skal overvåges og styres, således at afgangningen forløber optimalt. Derfor skal driftsledelsen være kompetent og være årvågen hver dag året rundt.

Det vil derfor være hensigtsmæssigt at sikre sig at firmaet kan levere god oplæring og support og vil give mulighed for at man kan lære af andre, der driver tilsvarende anlæg.

Bilag 1 – Medvirkende landbrug og anlægsleverandører

Økologiske planteavlsbedrifter

Følgende tre økologiske landmænd leverede oplysninger om deres planteproduktion og de biomasser og gødning, som de vil kunne levere til et fremtidigt biogasanlæg:

Christian Jørgensen, Arnakke – 823 ha

Niels Mejnertsen, Viskinge – 800 ha

Peter Mejnertsen, Tølløse – 730 ha

Indbudte firmaer

Følgende firmaer blev kontaktet med henblik på at få deres forslag til anlæg til projektet.

Firma	Land	Hjemmeside
Sauter Biogas GmbH	Tyskland	http://www.sauter-biogas.de/1_Engl/index.php
Schmack Biogas GmbH	Tyskland	http://schmack-biogas.viessmann.com/
EnviTec Biogas AG	Tyskland	http://www.envitec-biogas.com/
Axpo Kompogas AG	Schweiz	http://www.axpo.com/axpo/kompogas/en/home.html
agriKomp GmbH /Jørgen Hyldgaard Staldservice	Tyskland (dansk forhandler)	http://www.biogastechnik.de/en/ http://www.jhstaldservice.dk/articles/98/1/Biogas/Pag e1.html
OWS Dranco-Farm	BE	http://www.ows.be/organic_feedstock/dranco-farm/
Bigadan A/S	Danmark	http://bigadan.dk/
ComBigas	Danmark	http://www.combigas.dk/
BWSC A/S	Danmark	http://www.bwsc.com/Biogas-plant.aspx?ID=77
Xergi A/S	Danmark	http://www.xergi.com/
Lundsby Bioenergi A/S	Danmark	http://www.lundsby.dk/
Aikan DK	Danmark	http://www.aikantechnology.com/