
Bæredygtig biogasproduktion i Danmark

Denne rapport viser, hvilke konsekvenser den nuværende form for biogasproduktion i Danmark har for klima og miljø, men også de potentialer og nødvendige elementer, der skal til, for at sikre en biogasproduktion med positiv klima- og miljøeffekt. CONCITO's livscyklusanalyser viser, at biogasproduktion med halm giver betydelige CO₂-reduktioner i forhold til almindelig gyllehåndtering – hvis halmen ikke tages fra eksisterende energiproduktion. Klimaeffekten fra biogas produceret med fødevarerindustriaffald kan derimod være negativ i forhold til almindelig gyllehåndtering. Det skyldes især, at fødevarerindustriaffaldet i den nuværende situation omdirigeres fra de danske forbrændingsanlæg.

Det konkluderes, at de centrale parametre for biogasproduktionens bæredygtighed er, hvilken type biomasse, der bruges som substrat og om metanlækagen kan holdes på et meget lavt niveau. Den bedste klimaeffekt opnås ved at producere biogas med affaldsprodukter, som ikke konkurrerer med andre anvendelsesmuligheder eller andre former for energiproduktion, og dette bør afspejles i reguleringen af området.

Rapport

Udgivet: August 2015

Forfattere: Giovanna Croxatto Vega og Torben Chrintz

Støttet af: VELUX FONDEN

Indhold

1. Indledning.....	3
2. Sammenfatning	6
3. Biogas i det danske energisystem.....	8
4. Fordele og ulemper ved forskellige teknologier og biomassetyper	9
4.1. Konsekvenser ved at omstille biomasse til biogasproduktion.....	11
5. Klimapåvirkningen af fødevarerindustriaffald som cosubstrat til gylle	13
5.1. Basisscenariet	13
5.2. Biogasscenarierne	14
5.3. Følsomhedsanalyser	17
5.4. Resultater	18
5.5. Følsomhedsanalyser.....	24
5.5.1. Metanlækage.....	24
5.5.2. Forbrændingsanlæg.....	25
5.5.3. Tidsperspektivet.....	27
5.5.4. Kunstgødning.....	28
5.5.5. Anvendelse af biogas i transportsektoren.....	29
6. Diskussion	30
6.1. Stigning i GWP med biogasproduktion.....	30
6.2. Forhold til energisystemet.....	31
6.3. Metanudledninger og –lækage forbundet med biogasproduktion	32
6.4. Kvælstofudvaskning og fordampning ved brug af afgasset gylle på marker	35
6.5. Overgødskning med fosfor og udledning af tungmetaller	38
6.6. Påvirkning af end-use.....	39
6.7. Klimavenlig biomasse som cosubstrat.....	40
6.7.1. Uproblematisk.....	40
6.7.2. Udbytte/Kulstof	41
6.7.3. Anden energiproduktion	41
6.7.4. Konkurrerer med foder	42
7. Biogas i Danmark nu og i fremtiden	43
7.1. Krav og incitamenter	44
8. Konklusion.....	45
Kilder.....	46
Bilag	50
Bilag 1: Drivhusgasudledninger i hver fase af livscyklussen for almindelig gyllehåndtering og biogasproduktion i ton CO _{2e}	50
Bilag 2: GWP ₁₀₀ når den afgassede gylle erstatter N-handelsgødning i ton CO _{2e} . Positive værdier repræsenterer en belastning og negative værdier en reduktion.....	51
Bilag 3: Emissionsfaktorer gennem biogas- og basissceniernes livscyklus.....	52

1. Indledning

Ifølge Energiaftalen fra marts 2012 skal biogasproduktionen i Danmark opskales, således at ca. 50 % af husdyrgødningen udnyttes i biogasanlæg i 2020. For at nå dette mål blev der i 2012 oprettet en række driftsstøttesatser til biogasproducenterne, samtidig med at der blev mulighed for at modtage anlægsstøtte til selve anlægsfasen. Det blev dermed tydeligt, at der er et politisk ønske om, at der i de kommende år gennemføres en ambitiøs udbygning af biogassektoren, som i dag omsætter kun ca. 7 % af den danske husdyrgødning (Biogas Task Force, 2014).

En opskalering af biogasproduktionen har som udgangspunkt potentiale til at kunne medføre drivhusgasreduktioner, såfremt den er styret af en stram lovgivning og indeholder de rette økonomiske incitament. Biogas dannes ved at kulstoffet, som er bundet i f.eks. husdyrgødningen, gennem afgangning omdannes til kuldioxid (CO₂) og metan (CH₄), hvoraf sidstnævnte er en energirig gas som kan erstatte naturgas og muligvis udgøre en vigtig del af et mere klimavenligt energisystem.

Herudover kan biogasproduktion bidrage til en reduktion af de drivhusgasser, som udledes i forbindelse med gyllelagring og ydermere bidrage til at mindske miljøbelastningen ved gylleudbringning. Afgasning af gylle, som er processen som danner biogas af gyllen, øger andelen af plantetilgængelige næringsstoffer i gyllen, som kan erstatte kunstgødning og giver derved mulighed for at genanvende næringsstofferne i gyllen. På den måde kan de drivhusgasser, der er forbundet med produktionen af kunstgødning undgås. Endeligt kan biogasanlæg udnytte flere forskellige biomasseressourcer og affaldsprodukter, som ellers ikke vil have fundet anvendelse i energiforsyningen.

Imidlertid er biogasproduktionen i praksis ikke uproblematisk, og hver enkelt potentiel fordel er afhængig af en række forudsætninger for at kunne realiseres. Blandt andet er der stor usikkerhed om, hvor meget metan der lækkes fra biogasanlæg, fordi det sjældent er blevet målt. Dermed er der også stor usikkerhed omkring størrelsen af udledningerne fra afgasset gylle efter den er tilført markerne, og uvished om i hvilken grad det optimerede plantetilgængelige kulstof i afgasset gylle kan udnyttes af planterne eller reelt øger ammoniakfordampningen efter udbringning i marken.

I 2012 blev det meste biogas i Danmark produceret af en blanding af husdyrgødning og organisk industriaffald, som bruges til at supplere biogasudbyttet. Der blev brugt omkring 89 % husdyrgødning som gylle og 9 % som dybstrøelse (Birkmose et al., 2013). Gylle, som er energifattig, skal suppleres med forskellige organiske produkter, som øger tørstofindholdet i blandingen og dermed biogasudbyttet. Ved f.eks. 25 vægtprocent energiafgrøder udgør gasmængden produceret på energiafgrøder over 70 % af gasproduktionen, da tørstofindholdet er meget større i cosubstratet i forhold til gyllen.

Mængden af organisk industrifald, der kan bruges til at øge biogasudbyttet, vurderes nu næsten at være opbrugt, så er det vigtigt at finde andre typer biomasse, som kan tilføje det nødvendige tørstof for at øge biogasproduktionen uden at øge udledningen af drivhusgasser. Der skal tages specielle hensyn til hvilke biomasseressource- og affaldsprodukttyper der bruges, da dette har konsekvenser for drivhusgasbalancen og andre miljøbelastende effekter.

Energiafgrøderne til biogasproduktion har været vurderet med livscyklusanalyser mange gange, og der er en erkendelse af, at disse fører til nettoudledning af relativt store mængder drivhusgasser, da dyrkning af energiafgrøder fortrænger en fødevarerproduktion, der så skal foregå et andet sted (land use change, LUC) (Chrintz, 2013; De Vries et al., 2012b; Hamelin et al., 2014). Alligevel er energiafgrøder støtteberettiget til brug i biogasanlæg, dog i mindre mængder, som i perioden 2015 – 2017 ikke må overgå 25 % målt i vægt, og i 2018-2020 ikke overstige 12 %. Denne beslutning revideres i 2021, og det er derfor vigtigt at samle og analysere så meget relevant videnskabelig viden om klima- og miljøkonsekvenserne ved brug af energiafgrøder som muligt, således at fremtidige beslutninger tages under hensyn til dette. Formålet med denne rapport er at bidrage til denne proces og angive, hvorledes nogle af udfordringerne kan imødegås.

CONCITOs fødevarergruppe og andre medlemmer har givet værdifulde kommentarer og input til rapporten. Rapporten er imidlertid alene udtryk for CONCITO-sekretariatets faglige vurdering på grundlag af denne dialog. Da medlemmerne i en så bred organisation som CONCITO ikke altid vil være fagligt eller politisk enige, kan de ikke tages til indtægt for rapportens konklusioner og anbefalinger.

Metode

Livscyklusanalyse (LCA) er et anerkendt redskab til vurdering og kvantificering af et produkts eller en tjenestes miljøfordele og -ulemper. LCA-metoden følger reglerne udgivet af ISO (International Organization for Standardization) i ISO 14040 – 14044 (ISO, 2006a, 2006b). Ifølge reglerne skal data indsamles fra hver enkelt fase af produktionskæden, når et produkt eller en tjeneste analyseres. Dette kan inkludere bl.a. indsamling og forarbejdning af råmaterialer, transport samt energiforbrug under produktionen og slutbrug (tilslutning).

Et system skal defineres og afgrænses, og en opgørelse af emissionerne skal analyseres. I en konsekvens-LCA definerer man systemet ved at udpege alle konsekvenser af den nye anvendelse af produktet eller tjenesten, herunder at der kan ske en fortrængning af en anden brug af produktet eller tjenesten. I den forbindelse kan det være nødvendigt at udvide systemet for at inkludere konsekvenserne af disse ændringer også.

Den store fordel ved LCA-metoden er, at den kan tage hensyn til konsekvenserne af alle ændringer i systemet på det globale marked. Dermed er LCA særligt brugbart til at undersøge, om en ny måde at producere noget på resulterer i en fordel for klima og miljø eller ej og i hvilket omfang. I dagens globaliserede samfund kan man regne med, at en stigning i efterspørgslen af biomasse i Danmark har konsekvenser et andet sted i verden. Konsekvenserne kan blandt andet resultere i rydning af skov, intensivering af dyrkningsmetoder eller fortrængning af fødevarerproduktion, som skal så produceres et andet sted. Ved at identificere konsekvenserne er LCA-metoden i stand til at kvantificere, hvordan en ændring i anvendelsen af forskellige teknologier kan påvirke klima og miljø, hvis tilstrækkelige data er til rådighed.

Beregningerne i denne rapport tager udgangspunkt i konsekvens-LCA-metoden og til trods for, at det ikke var muligt at inkludere alle processer i produktionskæ-

den, vurderes det, at de væsentligste led, når det gælder klima og miljø er medtaget. Beregningerne beskrives i detalje i Afsnit 4, herunder de forskellige følsomhedsanalyser, der er udført for at sikre resultatets robusthed. De supplerende beregninger i denne rapport er baseret på baggrundsregninger fra (Croxatto Vega et al., 2014). Scenarierne i denne udgivelse supplerer de scenarier, der er valgt i nærværende rapport, herunder flere scenarier for alternative anvendelser af halm.

2. Sammenfatning

Denne rapport analyserer, hvilke konsekvenser den nuværende form for biogasproduktion har for miljøet i Danmark, med særlig fokus på klimapåvirkningen. Til dette formål er der udarbejdet to biogasscenarier, som varierer ved, at der i det ene bruges fødevarerindustriaffald som supplement til svinegylle, og i det andet bruges der halm som supplement for at øge metanudbyttet. Scenariet, hvor der bruges fødevarerindustriaffald samt gylle, repræsenterer den mest anvendte form for biogasproduktion i Danmark, mens scenariet med halm stadig har tekniske udfordringer, og derfor endnu ikke bruges i praksis. Disse to biogasscenarier sammenlignes med et basisscenarie med almindelig gyllehåndtering bestående af gyllelagring i en gylletank med udbringning til markerne i foråret.

Modellen følger principperne for livscyklusanalyser, der omfatter konsekvenserne ved at omdirigere en bestemt biomasse, f.eks. madaffald eller halm, til biogasproduktion fra dennes almindelige anvendelse. Fødevarerindustriaffaldets almindelige anvendelse bliver her defineret som forbrænding i et forbrændingsanlæg og den der tilhørende el og varme produktion. Halmens almindelige anvendelse er her defineret som nedpløjning i marken med det formål at bevare kulstoffet i jorden.

Scenarierne i denne rapport er udvalgt med henblik på at kunne beregne effekterne af en typisk dansk produktion af biogas, dvs. med brug af fødevarerindustriaffald som supplement, samt et fremtidigt potentiale, hvor miljøpåvirkningen er optimeret ved brug af halm som supplement. Herudover er scenarierne udvalgt, så de supplerer de scenarier, der findes i den nyere internationale litteratur om emnet.

Med hensyn til drivhusgasser viser analysen, at biogas produceret på gylle med fødevarerindustriaffald som supplement i bedste fald er på samme niveau som almindelig gyllehåndtering. Og dette er kun tilfældet, når metanlækagen forbundet med produktion og opgradering af biogassen holdes under 1 %. Årsagen hertil er, at fødevarerindustriaffaldet, som omdirigeres fra forbrændingsanlæg til biogasproduktion, i forbrændingsanlægget erstattes af en alternativ marginal energikilde, som i denne analyse antages at være dansk eller udenlandsk kulkraft. Dette medfører betydelige CO₂-udledninger for at dække den manglende energi i systemet. I modsætning til dette fører brugen af halm i biogasproduktion til betydelige CO₂-reduktioner sammenlignet med almindelig gyllehåndtering, forudsat at halmen ikke tages fra en eksisterende energiproduktion.

Analysen viser, at biogasproduktion under visse omstændigheder har en positiv effekt på udvalgte miljøparametre, f.eks. udvaskning af kvælstof. Effekten er imidlertid meget afhængig af, hvad der bruges til at producere biogassen, og af hvad den almindelige anvendelse af biomassen er. Tilførslen af både afgasset halmgylle og fødevarerindustriaffaldsgylle medfører en stigning i udledningerne af ammoniak til miljøet. Dette skyldes, at afgasset gylle med supplerende biomasse har en højere mængde total kvælstof og en højere andel mineralisk kvælstof, som omdannes gennem forrådnelsesprocessen. Brug af fødevarerindustriaffald som supplerende biomasse tilføjer en betydeligt større mængde kvælstof end tilsvarende brug af halm. Dette resulterer videre i øget nitratudvaskning og lattergasemissi-

on. Det samme gør sig gældende, når det gælder fosforudvaskning, hvor fødevarerindustriaffald-gylle-blandingen leder til en stigning i fosforbelastningen, mens dette ikke er tilfældet for halm-gylle-blandingen.

Denne analyse viser, at det er bedst at producere biogas fra affaldsprodukter, som ikke konkurrerer med andre anvendelsesmuligheder, herunder andre former for energiproduktion. Dette inkluderer gylle, dybstrøelse og fast staldgødning. Disse former for biomasse fører til sikre CO₂-reduktioner, dog forudsat, at metanlækagen holdes på et meget lavt niveau.

Det er ikke muligt at sige definitivt, om biomasse, som bruges til andre former for energiproduktion, er bedre udnyttet til biogasproduktionen. Før det besluttes at bruge biomasse i form af organisk industriaffald, husholdningsaffald eller halm til biogasproduktion, bør der i hvert konkret tilfælde foretages en kvalificeret vurdering af konsekvenserne af at omdirigere disse former for biomasse til biogasproduktion.

Det anbefales, at eventuelle tilskud målrettes den enkelte biomassetype med højere tilskud til mere klimavenlige former for biomasse, og ingen eller negative tilskud til biomasse, som fører til mere CO₂-udledning (f.eks. energiafgrøder). Det anbefales også, at der etableres hyppige obligatoriske og uafhængige målinger af metanlækagen som en fast del af miljøgodkendelsen til biogasanlæg, da metanlækagen er en afgørende faktor biogasproduktionens samlede klima- og miljøprofil.

Med hensyn til udledninger af næringsstoffer til miljøet, kan et biogasanlæg være et godt værktøj til efterbehandling af den afgassede gylle, så miljøbelastningen mindskes. Én behandlingsmetode er separering af gyllen, så næringsstofferne omdistribueres til der, hvor der er behov for dem. For eksempel kan fosfor på den måde transporteres væk fra en svineavlens marker til et område, der reelt har gavn af fosforgødning. En anden mulighed er, at gyllen forsures efter afgasning, hvilket nedbringer ammoniakudledningerne fra markerne, omend den økonomiske omkostning for dette kan være relativ høj. Disse metoder skal implementeres sammen, således at man samlet set får den mest effektive udnyttelse af den afgassede gylle.

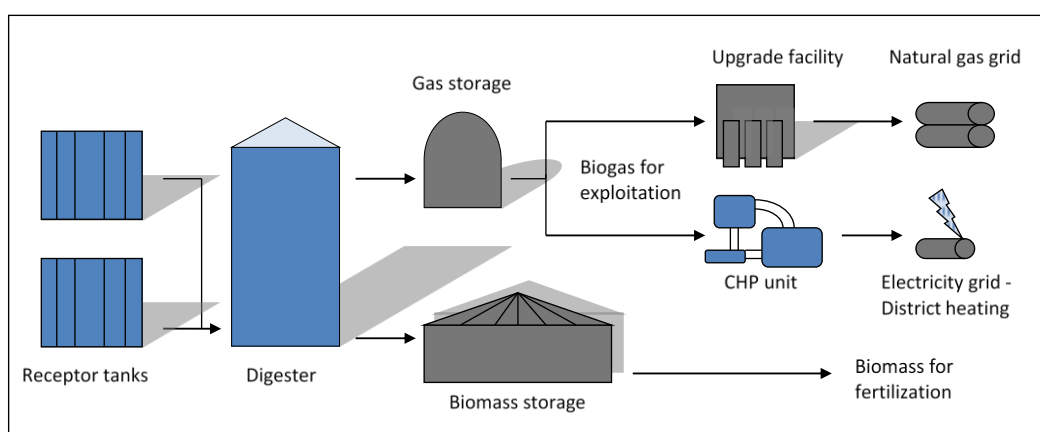
I vurderingen af en bestemt biomasse bør det indgå, hvorvidt behandling med alternative teknologier vil gavne klima, miljø og det samlede energisystem mere end biogasprocessen. Dette indebærer, at biogasanlæggene ikke skal regne med fremover at kunne "sætte" sig på en bestemt type biomasse, og en ukritisk udbygning af biogasanlæggene kan give en uheldig "lock-in" af bestemte former af biomasse til biogasanlæg.

Med de nuværende regler og praksis er der ikke nogen garanti for, at biogasproduktionen rent faktisk gavner klimaet eller har en positiv indvirkning på miljøet, når det gælder fosfor og kvælstof. Men ved at implementere forskellige tiltag og tage hensyn til konsekvenserne ved brug af forskellige former for biomasse til biogasproduktionen, kan biogasproduktion i fremtiden blive til gavn for både klima og miljø, omend den i det samlede energimiks sandsynligvis kun vil spille en mindre rolle.

3. Biogas i det danske energisystem

I Danmark kan man skelne mellem to former for biogasanlæg, nemlig gårdanlæg og fællesanlæg. Et gårdanlæg er lokaliseret på en gård og behandler gårdens produktion af husdyrgødning, mens et fællesanlæg modtager gylle (blandingen af urin og fæces) mm. fra flere gårde. Efter at gyllen er behandlet på enten et gård- eller fællesanlæg, returneres den afgassede gylle normalt i sidste ende til markerne, hvor rågyllen ellers ville være udspreddt. Danske landmænd betaler ikke for at få behandlet deres gylle i et fællesanlæg, og de får med den returnerede gylle fordel af en organisk gødning med et kendt næringsstofindhold og en mere ensartet sammensætning end rågyllen (Madsen et al., 2011). Fællesanlæg modtager også industriaffald og andre cosubstrater til gylle som kan øge produktionen af biogas, da gylle i sig selv har et meget lavt biogasudbytte. Den afgassede gylle, som tilføres til markerne, indeholder også næringsstofferne og fremmedstofferne fra cosubstraterne, som anlægget også har modtaget.

Biogasanlæg har som regel flere fortanke til modtagelsen af gylle og anden biomasse; en lukket og isoleret reaktortank til selve biogasproduktionen, en efterlagertank til den forrådnede biomasse, og et gassystem med lager og transmission til afsætning af biogassen (Figur 1). Når gylle og andre organiske materialer ankommer til anlægget, bliver det lagt i adskilte fortanke i omkring syv dage. Fortankene bliver omrørt for at opnå en homogen konsistens i gyllen, og tanken med industriaffald bliver i nogle tilfælde opvarmet, så fedtet forbliver flydende. Fortankene arbejder som buffertank, så produktionen af biogas kan fortsætte i weekenden og på helligdage. Fra fortanken pumpes biomassen ind i reaktortanken kontinuerligt eller semikontinuerligt, alt efter den mikrobielle aktivitet. Den mest anvendte type biogasanlæg i Danmark har fuldt omrørte reaktortanke. Denne type sikrer, at hele biomassen er blandet, således at der ikke kan dannes et uigennemtrængeligt lag af tørstof. Tørstofindholdet i biomassen må ikke være højere end 8 – 10 %, da materialet ellers ikke er pumpbart.



Figur 1. Eksempel på et fællesanlæg til produktion af biogas.

Afsætning af biogas er muligt ved at opgradere biogassen i et opgraderingsanlæg, dvs. rense den for CO₂ og andre uønskede gasser, eller ved at anvende den direkte i f.eks. en kraftvarmehenhed. En tredje mulighed er at opgradere biogassen, så den

kan bruges i transportsektoren, men denne mulighed er stort set ikke udnyttet endnu. At producere el og varme med en kraftvarmemotor er den afsætningsmetode, der bruges mest hos biogasproducenter, og biogasanlæg har normalt en kraftvarmeenhed på stedet. Dette kommer formentlig til at ændre sig efter Energifaen fra 2012 har gjort afsætning via naturgasnettet mere økonomisk attraktivt. Flere muligheder eksisterer for at afsætte og bearbejde biogassen, herunder opgradering af biogas via brint lavet med elektrolyse (metanisering), men denne proces er stadig i udviklingsfasen.

Flere af målsætningerne fra Energifaen i marts 2012 påvirker udviklingen af biogassektoren. Nedenstående liste viser de målsætninger, som har direkte eller indirekte indvirkning på udbygningen af biogasproduktionen i de kommende år:

- 2020: 50 % af husdyrgødningen skal bruges i biogasproduktionen, og 50 % af elproduktionen skal ske fra vindmøller
- 2022: Ca. 300.000 ton organisk affald kildesorteres
- 2030: Kul udfases sammen med olie anvendt til varmeproduktion
- 2035: 100 % vedvarende energi til el og varme
- 2050: 100 % af energiforsyningen skal dækkes af vedvarende energi.

Den samlede mængde af vedvarende energi er en vigtig bestemmende faktor for, hvor stor en klimafordel der kan opnås ved biogasproduktionen. Ifølge CONCITOs egne beregninger (Chrintz, 2013) er CO₂-udledningen fra 1 kWh el fra forskellige energikilder som følger: 1,0 kg CO₂e fra kul, 0,6 kg CO₂e fra naturgas, 0,3 kg CO₂e i gennemsnit fra forskellige biomasser (dækker over store variationer) og 0,014 kg CO₂e fra vind. Dermed er det klart, at hvis 1 kWh biogasproduceret el fortrænger 1 kWh kulproduceret el, er der en større fordel end, hvis der for eksempel fortrænges vindenergi eller naturgas.

Hvis biogas fortrænger vindenergi vil dette, alt andet lige, lede til en nettostigning i CO₂-udledningerne, da 1 kWh el fra vind udleder langt mindre CO₂e end el produceret med biogas. Omvendt kan biogas og andre gasser, afhængig af energisystemet, potentielt udgøre et bidrag til lagerkapacitet, når vind- og solanlæg ikke opfylder efterspørgslen af energi.

Biogas giver også god mulighed for at forsyne en mindre del af transportsektoren med mere vedvarende energi. I dette tilfælde ville biogas fortrænge dieselbrændsler, som ifølge LCA kan give de største samlede klimafordele. Der mangler dog endnu analyser, som dokumenterer, at biogas er en bedre mulighed end f.eks. bioethanol, biodiesel, el og brint (Patterson et al., 2011).

4. Fordele og ulemper ved forskellige teknologier og biomassetyper

Biogasteknologien giver mulighed for at udnytte de store mængder af husdyrgødning, der produceres i dansk landbrug og udnytte en del af det energiindhold, der er i gødningen. I Danmark bliver der produceret ca. 37 mio. ton husdyrgødning om året. Ud af det er det praktisk muligt at udnytte ca. 25 mio. ton gødning sva-

rende til omkring 15 PJ energi (Birkmose et al., 2013), hvilket kan ses i relation til et samlet bruttoenergiforbrug i Danmark på ca. 800 PJ.

Biogas giver også mulighed for at omdanne kulstoffet i mange forskellige organiske produkter til metan; herunder f.eks. kløvergræs, have-parkaffald, grøftekanter, husholdningsaffald, fast staldgødning, organisk industriaffald, halm, randzoner, efterafgrøder, naturarealer, energimajs, energiroer og roetopensilage. Potentialt i PJ for hver biomassetype varierer meget og afhænger af metanudledningen samt de teknologiske udfordringer ved at indsamle og anvende biomassen i biogasanlæg.

Omkostningerne for selve biomassen kan være betydelige. En rapport fra Agro-Tech tyder på, at det bliver stadig mere udfordrende at finde biomasse, der er velegnet til at supplere gylle i biogasanlæg, når biogaskapaciteten udvides (Birkmose et al., 2013). Det skyldes de førnævnte tekniske udfordringer og omkostninger, men også, at der ikke er mere af det organiske industriaffald til rådighed, som hidtil har været brugt i biogasanlæggene, og som i produktionsmæssig sammenhæng har en meget høj kvalitet og energitæthed.

Som tilskudssituationen er på nuværende tidspunkt, er det fuldstændig afgørende for økonomien i at øge biomasseproduktionen på et anlæg at kunne få fat i biomasse, som kan supplere gyllen. Der skal dog tages højde for, at forskellige typer biomasse kan have forskellige konsekvenser såsom betydelige CO₂-udledninger eller en negativ miljøpåvirkning.

En markant udbygning af biogassektoren kræver omhyggelig planlægning, når det gælder tekniske og økonomiske aspekter, men også stor opmærksomhed på klima- og miljøeffekten af at bruge visse cosubstrater. Det er uden tvivl en stor fordel, at der kan udnyttes så mange forskellige slags biomasse til produktion af biogas, men der kan være negative klima- og miljøeffekter ved flere af dem.

Flere analyser viser, at biogas produceret af ren gylle giver betydelige CO₂-reduktioner. For eksempel viser (Sommer et al., 2001) i en modelleringsanalyse store reduktioner ved afgasset gylle i forhold til ubehandlet gylle. Her skyldes den største del af reduktionerne 75% mindre CH₄-emissioner (metan) fra gylletanken og 41 % mindre N₂O-emissioner (lattergas) ved udbringning af afgasset gylle til marken.

På samme måde fandt (De Vries et al., 2012b) en mere beskedne reduktion på 16 kg CO₂e per ton gylle, når gylle afgasses alene (uden cosubstrat) i forhold til ubehandlet gylle. Den mere moderate reduktion skyldes, at den er baseret på en livscyklusanalyse, som kigger på hele produktionskæden og derfor er mere detaljeret og komplet.

I den samme analyse findes klimapåvirkningen for fem andre biogasscenerier med forskellige typer biomasse som cosubstrater. Scenerierne inkluderer biogasproduktion, der supplerer gylle med majsensilage, majsensilage og glycerin, roetopensilage, DDGS (Distillers Dried Grains with Solubles) og græs fra grøftekanter. Ud fra deres resultater er det umiddelbart tydeligt, at valget af cosubstrat har stor betydning for systemets klima- og miljømæssige præstation.

I forhold til basissceneriet, som består af almindelig gyllehåndtering, herunder lagring i efterlagringstanken og udbringning til markerne om foråret, opnår kun

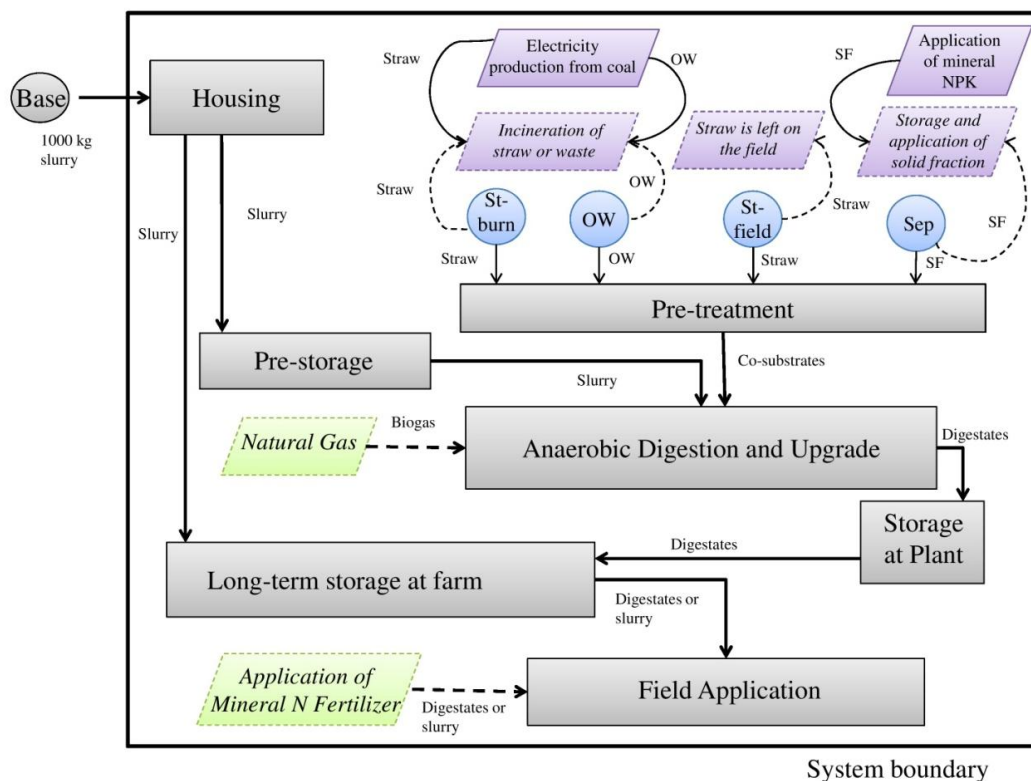
to ud af de seks scenarier drivhusgasreduktioner. Det gælder scenariet med græs fra grøftekanter som cosubstrat samt det som behandler gylle alene. Scenariet med DDGS, som er et biprodukt af bioethanolproduktion, medfører en merudledning på 76 kg CO₂e per ton gylle. I samme stil opnår scenarierne som bruger energiafgrøder dvs. majsensilage, majsensilage og glycerin og roetopensilage ingen reduktioner, men bidrager med udledninger på henholdsvis 58, 36, og 105 kg CO₂e per ton gylle i forhold til basisscenariet.

Dette resultat findes i flere analyser og LCA'er af biogas og bioenergi lavet af energiafgrøder og forklares bl.a. ved at brugen af energiafgrøder til bioenergi eller biogas direkte eller indirekte medvirker til ændringer i arealanvendelser (Land Use Change, LUC, Indirect Land Use Change, iLUC) (Chrintz, 2013; De Vries et al., 2012b; Fargione et al., 2008; Hamelin et al., 2014; Melillo et al., 2009; Plevin et al., 2010).

Den resulterede ændring i arealanvendelse er et godt eksempel på konsekvenserne som alternativt brug af cosubstratet kan have for klima og miljø. Det er denne, som ofte er den afgørende faktor for klima- og miljøpåvirkningen, når man sammenligner cosubstraterne.

4.1. Konsekvenser ved at omstille biomasse til biogasproduktion

Alle typer biomasse tjener et formål i de aktuelle systemer, de befinder sig i. Det kan være f.eks. at bevare kulstof og frugtbarhed i landbrugsjorden, at have gødningsværdi, indgå som foder eller energi hos andre energiproducenter eller værdi for biodiversiteten. Derfor er det vigtigt at have fokus på konsekvenserne af en konkret omstilling af biomasse til biogas. Et tydeligt eksempel på, hvordan alternativ brug af biomasse påvirker klima og miljø forskelligt findes i (Croxatto Vega et al., 2014). I denne livscyklusanalyse findes der bl.a. to scenarier for brug af halm som cosubstrat til gylle. I figur 2 kan man se hele systemet, som blev analyseret i denne artikel.



Figur 2. Afskæringskriterier af fem scenarier i (Croxtato Vega et al., 2014). Analysen indebærer et basisscenarie af almindelig gyllebehandling og fire scenarier med biogas af gylle som suppleres med henholdsvis halm, husholdningsaffald eller fast (separeret) gylle. De grå kasser repræsenterer hovedlivscyklusfaser, mens de grønne kasser repræsenterer processer, der undgås i alle scenarier. De lilla kasser repræsenterer den alternative anvendelse af hver cosubstrat specifikt til hvert scenarie. De hele pile repræsenterer materiale- eller energiflows, mens de punkterede pile repræsenterer undgåede flows. De blå cirkler markerer begyndelsen af hvert scenarie.

De to scenarier varierer ved, at den alternative anvendelse for halmen i det ene scenarie er at blive pløjet ned, mens det i det andet scenarie er at blive brændt af i et kraftvarmeværk. Hvis man fjerner halm fra landbruget, undgås der en CO₂-udledning ved nedbrydelsen af halmen på markerne (den samme halm som nu bruges til at producere biogas). Omvendt fører det til en udledning af drivhusgasser, når man ikke forbrænder halm, fordi den mistede el og varme stadig skal produceres, f.eks. fra kul. Dette gør, at scenariet, hvor man bruger halm, som ellers ville være blevet nedpløjet i markerne (St-field) sparer 39 kg CO₂e per ton gylle, mens scenariet, hvor man tager halmen fra forbrænding i et forbrændingsanlæg (St-burn) udleder 12 kg CO₂e mere end basisscenariet, som er konventionel gyllebehandling.

Det samme er gældende for scenariet som bruger husholdningsaffald som cosubstrat til gylle. Hvis husholdningsaffaldet ikke forbrændes, men i stedet bruges til at producere biogas, mister man den el og varme, som ellers var produceret fra forbrænding af affaldet. Men den tabte energi skal stadig produceres, og markedet vil reagere ved f.eks. at bruge kul, som medfører en øget udledning af CO₂e.

Desuden kan biogasanlæggene ikke producere lige så meget energi per enhed som et moderne affaldsforbrændingsanlæg, idet kun ca. halvdelen af det organiske stof i et biogasanlæg omdannes til energi, hvor et moderne affaldsforbrændingsanlæg med kondensering kan ligge på næsten 100 %, også for relativ våde affaldstyper. Her er det afgørende på hvilken form det er mest hensigtsmæssigt af have energien (gas eller varme og el), og om lidt gas er bedre end meget varme og el.

Forskellen mellem de to halmscenarier giver et billede af, hvordan den alternative brug af cosubstratet har indvirkning på biogasproduktionens relative klimabelastning. I den nedenstående analyse bliver klimapåvirkningen af fødevarerindustriaffald, som er en af de industriaffaldstyper, der ofte bruges til at supplere gyllebaseret biogasproduktion, undersøgt, baseret på metodik og baggrundsmateriale i (Croxatto Vega et al., 2014).

5. Klimapåvirkningen af fødevarerindustriaffald som cosubstrat til gylle

Formålet med beregningerne i dette afsnit er at undersøge, hvilken påvirkning biogasproduktionen fra gylle og fødevarerindustriaffald har på forskellige klima- og miljøparametre sammenlignet med almindelig gyllehåndtering.

Analysen inkluderer produktionen af gylle fra 2.786 grise som var størrelsen på en gennemsnitlig svinebesætning i 2011 (Laura Marie Sørensen, 2014). Produktionen af gylle fra denne svinestald betragtes som analysens funktionelle enhed dvs. denne mængde gylle danner basis for sammenligningen på tværs af scenarierne. Ifølge harmonireglerne fra Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri svarer dette antal grise til 109 dyreenheder (DE), og en gylleproduktion, som skal tilføres til mindst 78 ha marker baseret på kvælstofindholdet i gyllen. Dvs. at både i basis- og biogasscenarierne bliver den samme mængde gylle tilført 78 ha marker. Det er værd at bemærke, at størrelsen af de enkelte parametre har mindre betydning, da der er en del usikkerhed forbundet med de emissionsfaktorer, der bruges. Det er rangordenen af de udarbejdede scenarier, der er vigtig for at forstå rapportens resultater.

5.1. Basisscenariet

I basisscenariet behandles gylle på konventionel vis. Systemet starter efter den producerede gylle forlader stalden og pumpes til en gylletank på biogasproducentens ejendom. Gyllen lagres i omkring seks måneder og tilføres markerne om foråret og hen over vækstsæsonen ved brug af slæbeslanger. Afgrøderne som dækker det gødede areal er 40 % vårbyg, 40 % vinterhvede, 10 % vinterraps og 10 % vinterbyg. Efter gylletilførslen udledes en del N-emissioner, beregnet på baggrund af emissionsfaktorer givet af Powersims modellen (Hutchings, N.J., 2010). En tabel med alle N-relaterede emissionsfaktorer findes i bilag 3 for alle de udarbejdede scenarier.

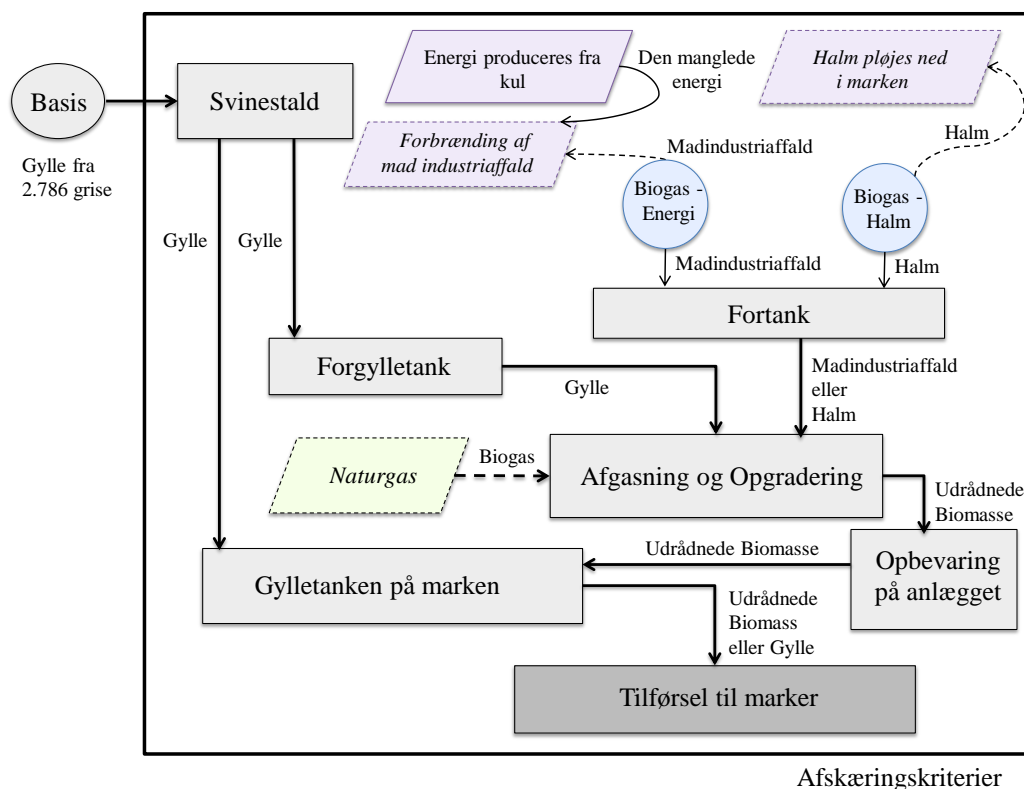
Der beregnes også en fosfor-emission efter tilførslen af gyllen. Det beregnes videre, at den beskrevne afgrødeblanding optager i gennemsnit 21.5 kg fosfor ha⁻¹ yr⁻¹ (Hutchings et al., 2013), og at 5 % af den overskydende fosfor udvaskes i det om-

kringliggende miljø, jf. forklaringen i Ten Høve et al. (2014). Ten Høve et al. (2014) pointerer dog, at der er stor usikkerhed knyttet til denne antagelse.

Alle fosfor- og nitrogen-emissioner beregnes på samme måde for både basis- og biogasscenerierne.

5.2. Biogasscenerierne

Der opereres med to scenarier for biogas. I det ene (biogas-energi) beregnes konsekvenserne ved at omdirigere fødevarerindustriaffald til biogasproduktion, hvor alternativet er forbrænding og deraf følgende energiproduktion. I det andet opereres med et biogasscenario med halm som supplement til gylle, for at illustrere forskellen mellem de to typer biomasse. Disse scenarier sammenlignes med konventionel gyllebehandling, dvs. basissceneriet for at fastslå, om og i hvilket omfang der er klima- og miljøfordele ved at afgasse biomassen. I figur 3 kan man for de tre scenarier se afskæringskriterier for hele systemets produktionskæde.



Figur 3. Afskæringskriterier for de tre udarbejdede scenarier. De grå kasser repræsenterer hovedlivscyklusfaser, mens de grønne kasser repræsenterer processer, der undgås af alle scenarier. De lilla kasser repræsenterer den alternative anvendelse af fødevarerindustriaffaldet specifikt til biogas-energi-scenariet og den alternative anvendelse af halm specifikt til biogas-halm-scenariet. De hele pile repræsenterer materiale eller energiflows, mens de punkterede pile repræsenterer undgåede flows. De blå cirkler markerer begyndelsen af hvert scenario.

I biogasscenerierne pumpes gyllen til en forgylletank på svineavlerens ejendom, efter at den er blevet produceret i svinestalden. Derfra hentes og transporteres gyllen til et biogasanlæg, hvor det blandes med 20 % fødevareindustriaffald eller 7 % halm målt på vægt. Disse procentvise cosubstrater er udregnet sådan, at det er den samme mængde tørstof, som tilføres i begge biogasscenerier. Blandingen af gylle og industriaffald/halm bliver afgasset og ud fra det produceres to produkter, nemlig biogassen og den forrådnede biomasse. Biogassen opgraderes på stedet i et opgraderingsanlæg og bliver afsat via naturgasnettet. Den forrådnede biomasse transporteres tilbage til svineavleren, hvor den pumpes ind i gylletanken og tilføres til markerne i foråret på samme måde som i basissceneriet. Det antages, at landmanden modtager den samme mængde gylle, som oprindeligt blev udleveret til biogasanlægget. Endvidere er det værd at bemærke, at den samme mængde gylle efter forrådnelsen indeholder en højere mængde kvælstof, nemlig også cosubstratets kvælstof.

Medmindre alle biogasanlæg laver hyppige kemiske karakteristika-analyser, er det ikke sandsynligt, at landmanden får præcis det samme kvælstof, som han får lov til at tilføre sine marker. Derfor antages det i denne beregning, at landmanden får den samme mængde gylle retur til at tilføre sine marker i foråret. I praksis vil gyllen fra nogle biogasanlæg imidlertid i et vist omfang blive redistribueret til f.eks. økologisk jordbrug eller til planteavl, hvor den kan fortrænge anden gødning. Den oprindelige karakteristika af både 'reference flow' dvs. gyllen fra de 2.786 grise, fødevareindustriaffaldet og halmen, der bruges i analysen, er givet i tabel 1.

Tabel 1. Kemiske karakteristika af gyllen og fødevareindustriaffaldet der bruges til vurderingen.

	Gylle kg ton ⁻¹	Mad Industriaffald kg ton ⁻¹	Halm kg ton ⁻¹
Tørstof	78.7	300.0	920.0
Organisk stof	52.6	253.0	860.0
Kvælstof, N	6.9	12.0	6.2
Mineralsk N	5.0	2.2	0.8
Aske	26.1	47.0	60.0
Fosfor, P	1.1	3.0	0.3
Vand	916.3	700.0	79.2

Der bemærkes, at de såkaldte capital goods ikke indgår i beregningen, dvs. etablering af infrastruktur, maskiner, biogasanlæg mm. Emissioner og forbrug af fossilbrændsel under transport, biogasproduktion og andre aktiviteter med formål at behandle gyllen er heller ikke inkluderet. Kunstgødningen som fortrænges af gyllen eller af den afgassede biomasse er heller ikke medtaget i beregningen, men en følsomhedsanalyse er udført for at sikre, at resultatet ikke ville ændre sig markant, hvis den var med.

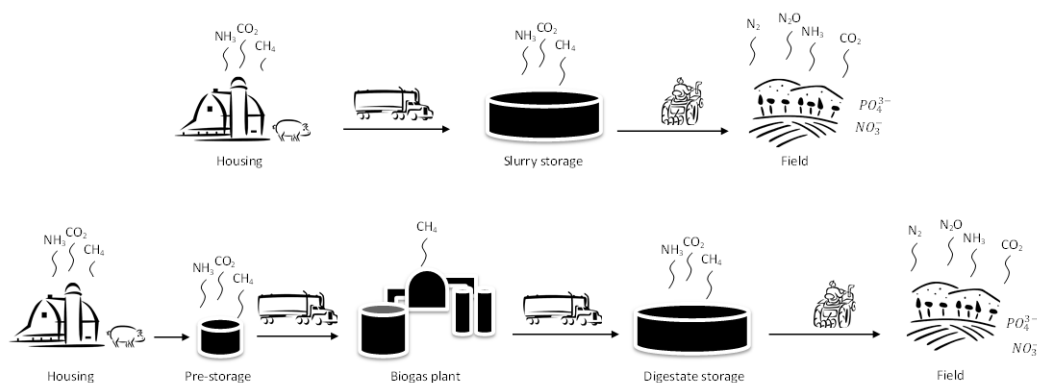
Konsekvensen ved at omdirigere fødevareindustriaffald til biogasproduktionen er, at det så ikke bliver forbrændt i et forbrændingsanlæg. Den mest almindelige måde at bortskaffe madaffald i Danmark på er at brænde det. Det er kun de meget væskeholdige typer industriaffald, som kan være u hensigtsmæssige at sende i

gennem et forbrændingsanlæg (f.eks. mælkeprodukter). At omdirigere fødevarerindustriaffaldet til biogasproduktion har den konsekvens, at en vis mængde energi ikke produceres i forbrændingsanlægget, fordi affaldet afgasses i biogasanlægget i stedet for. Dette medfører at den mistede energi stadig skal produceres, og efterspørgselen gør, at energien her antages produceret fra kul, samme antagelse som normalt anvendes ved vurdering af f. eks sol og vindenergi. Disse aktiviteter kaldes her 'den alternative anvendelse' af industriaffald.

Forbrændingsanlægget i analysen antages at være et moderne forbrændingsanlæg med røggaskondensering, som betyder, at næsten 100 % af energiindholdet i affaldet vil kunne genvindes. Det antages, at energiindholdet i fødevarerindustriaffaldet er nogenlunde det samme som i organisk dagrenovationsaffald, som ifølge (Hulgaard, 2014) fra Rambøll er på 6,6 MJ per kg affald, når røggaskondensering anvendes. Dette er muligvis en relativt pessimistisk antagelse, da energiindholdet i protein og fedt er 3-6 gange højere.

På samme måde er den alternative anvendelse af halmen som omdirigeres til biogasproduktion at blive pløjet ned i landmandens marker. Dvs. at når halmen bruges til biogasproduktion i stedet for at blive pløjet ned, undgås der i første omgang N_2O , CO_2 , NO_3^- og PO_4^{3-} emissioner fra nedbrydelsen af halmen i marken. Der skelnes ikke mellem fossilt kulstof og biogent kulstof. Dvs. at beregningerne inkluderer alle relevante drivhusgasemissioner (CO_2 , CH_4 , N_2O) fra alle kilder, uanset om det er biomasse eller fossile brændsler. Karakterisering af drivhusgasemissioner følger tallene udgivet i IPCC's seneste rapport (Myhre et al., 2013). Der bruges de seneste opvarmningspotentialer "Global Warming Potentials" i et 100-årsperspektiv (GWP100), som inkluderer kulstof-feedbacks. Ifølge IPCC giver inklusionen af feedbacks fra kulstofkredsløb for ikke- CO_2 gasser et mere ensartet skøn af GWP, end hvis man kun inkluderer dem for CO_2 (Myhre et al., 2013). Dermed er metans betydning for den globale opvarmning noget større her end i traditionelle opgørelser, men det vurderes, at den anvendte faktor er den nyeste og mere korrekte og vil blive bredt anvendt fremover.

Ud over CO_2 e inkluderes også forskellige emissioner fra landbruget, som har vigtige konsekvenser for miljøet. Disse inkluderer emissioner af ammoniak (NH_3), kvælstofudvaskning som nitrat (NO_3^-) og emissioner af fosfor (PO_4^{3-}) til vand og økosystemer. Disse resultater bliver vist som udledninger per hektar. De forskellige emissioner, som opgøres i rapporten, vises i figur 4 for hver livscyklusfase.



Figur 4. Klima- og miljørelevante emissioner der vurderes i nærværende rapport, opdelt i livscyklusfaser.

5.3. Scenarier for følsomhedsanalyser

Der er blevet gennemført flere følsomhedsanalyser for at teste resultaterne. Disse fokuserer på forskellige aspekter, herunder aspekter som er kendt for at have stor usikkerhed som f.eks. energiudnyttelsen i forbrændingsanlæg til forbrænding af fødevarerindustriaffald og risikoen for metanlækage fra biogas- og opgraderingsanlægget. Energikilden til produktionen af den energi, der mistes, når industriaffaldet ikke forbrændes og tidsperspektivet for opvarmningspotentialerne fra IPCC, blev også testet. Situationen hvor brugen af gylle eller afgasset gylle fortrænger brugen og produktionen af kvælstofbaseret kunstgødning er også med i analysen, selvom produktionen af kunstgødning sker uden for Danmark. Der bemærkes at biogas-halm-scenariet ikke indgår i følsomhedsanalyserne. En beskrivelse af alle tal som blev ændret under følsomhedsanalysen findes i tabel 2.

Table 2. Parametrene der bliver ændret i følsomhedsanalyserne. Basis refererer til de oprindelige modellerede scenarier.

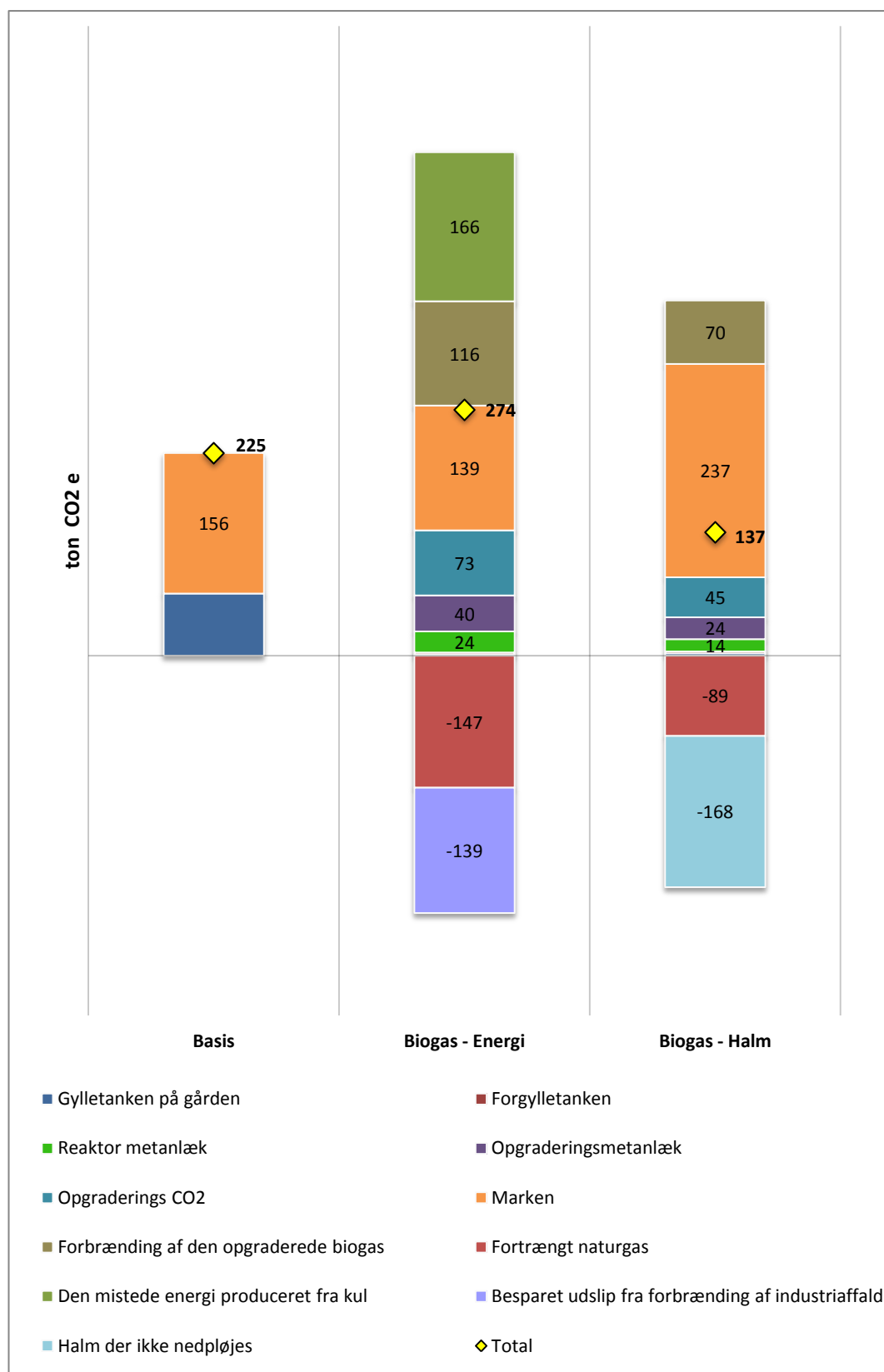
Følsomhedsanalyse	Basis	Test 1	Test 2
1. Metanlækage			
Biogasanlæg	1,6%	1%	10%
Opgraderingsanlæg	2,7%	0%	0%
2. Affaldsforbrændingsanlæg			
Fortrængt Energikilde	Kul	El fra kul, varme fra naturgas	
Virkningsgrad (el og varme)	100%	100%	82%
3. Tidsperspektivet	GWP100	GWP20	-
4. Kunstgødning	Ikke med	Med	-
5. Tilslutning	Naturgasnettet	Transport	-

5.4. Resultater

Udledningen af drivhusgasser vises i Figur 5 opdelt i livscyklusfaser. Positive værdier repræsenterer øget klimapåvirkning, mens negative værdier repræsenterer en reduktion i udledningerne. Resultaterne viser, at det ikke er en klimamæssig gevinst at producere biogas af gylle suppleret med fødevareindustriaffald med de her anvendte forudsætninger. Til gengæld ses en klar klimafordel, når der bruges halm som supplement til gylle. I biogas-halm-scenariet reduceres CO₂-udledningen med 39 % eller 88 ton CO₂e.

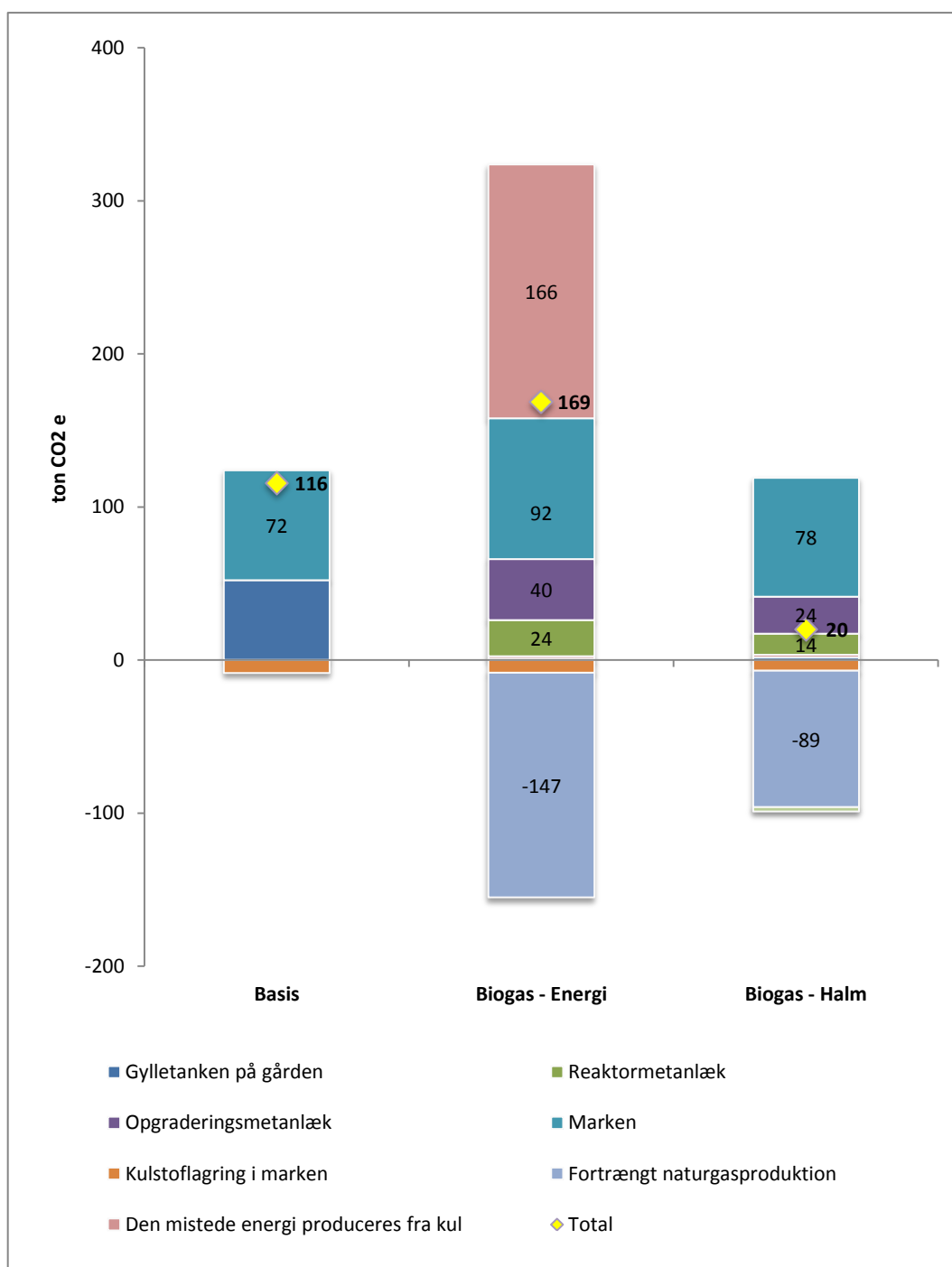
Når der tages hensyn til konsekvensen ved at omdirigere industriaffald fra forbrændingsanlægget til biogasanlægget, bliver biogas-energi-scenariet 22 % mere klimabelastende end basis-scenariet, svarende til 48 ton CO₂e. I dette scenarie kommer den største udledning fra den energi, der skal produceres på kul pga. manglende industriaffald i forbrændingsanlægget. Metanlækage forklarer en betydelig del af udledningerne i biogas-energi-scenariet og står for i alt 23 % af det samlede udslip. De store CO₂-reduktioner i biogas-halm-scenariet forklares ved, at det i scenariet antages, at halmen ikke finder anvendelse i et forbrændingsanlæg. Dette medfører, at det undgås, at halmen pløjes ned i marken og derved CO₂ og N₂O emissioner fra nedbrydelsen af halmen i jorden.

Endvidere er metanlækagen fra gylletanken på gården i begge biogasscenarier reduceret med omkring 95 % ift. basis-scenariet, som er lidt højere end reduktionen i (Sommer et al., 2001). Udledningen fra markerne er reduceret med 11 % i biogas-energi-scenariet pga. mindre letomsætteligt kulstof i den forrådnede biomasse, efter at den har været gennem biogasanlægget. Omvendt er bidraget til CO₂-udledningerne fra marken højere under biogas-halm-scenariet, da halm er rigt på tungtomsætteligt kulstof selv efter afgang og ender på marken som del af den afgassede gylle, som kommer retur til landmanden. Bidraget fra marken er 81 ton CO₂e højere i biogas-halm-scenariet, end i basis-scenariet.



Figur 5. Drivhusgaspotentialer (GWP) givet i ton CO₂e for basis-scenariet og for de to biogasscenarier; biogas-energi med den alternative anvendelse ikke at forbrænde fødevarerindustriaffald til el- og varmeproduktion, og biogas-halm-scenariet med den alternative anvendelse ikke at nedpløje halm i jorden. Talværdierne er vedlagt i bilag 1.

Figur 6 (næste side) viser udledningerne fra alle scenarier, når emissioner af biogent CO₂ (dvs. CO₂ i biomassen som frigives fra marker, gylletanken, forbrændt biogas, ikke forbrændt fødevareindustriaffald, opgraderings CO₂, og CO₂ fra ikke at nedpløje halm) ikke tæller med i opgørelsen. Det ses, hvordan antagelsen om biogent CO₂'s CO₂-neutralitet ikke ændrer ved det overordnede resultat. Rangordningen efter emissioner scenarierne i mellem forbliver den samme, og man kan tydeligere se emissionerne af fossilt CO₂, metan og lattergas. Dette tydeliggør den negative indvirkning omdirigering af fødevareindustriaffald fra forbrændingsanlægget har på drivhusgasbalancen i biogas-energi-scenariet.



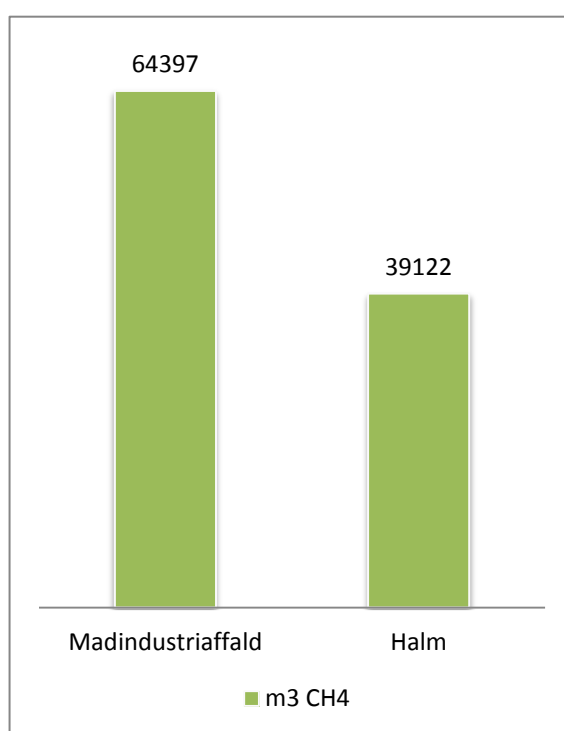
Figur 6. Drivhusgaspotentialer (GWP) givet i ton CO₂e for basis-scenariet og for de to biogasscenarier; biogas–energi og biogas–halm uden biogent CO₂. Dvs. at CO₂-emissioner fra gyllen, fødevarerindustriaffaldet og halmen ikke tæller med i opgørelsen, og at figuren i stedet kun viser emissionerne af fossilt kulstof, metan fra gylletanken på gården og biogasproduktionen samt lattergas fra marken.

Et andet interessepunkt i figur 6 er de højere N₂O-emissioner fra afgasset gylle på marken for biogas–energi-scenariet og den negative påvirkning af metanlækage fra biogasproduktionen. Den højere lattergas-emission i biogas–energi-scenariet skyldes, at fødevarerindustriaffaldet tilføjer en højere mængde kvælstof, som

senere vil blive til en udledning på marken. Det fremgår også, at metanlækagen i biogas–halm-scenariet er 26 ton CO₂e mindre end i biogas–energi-scenariet. Dog forklares dette af en samlet set lavere metanproduktion i biogas–halm-scenariet.

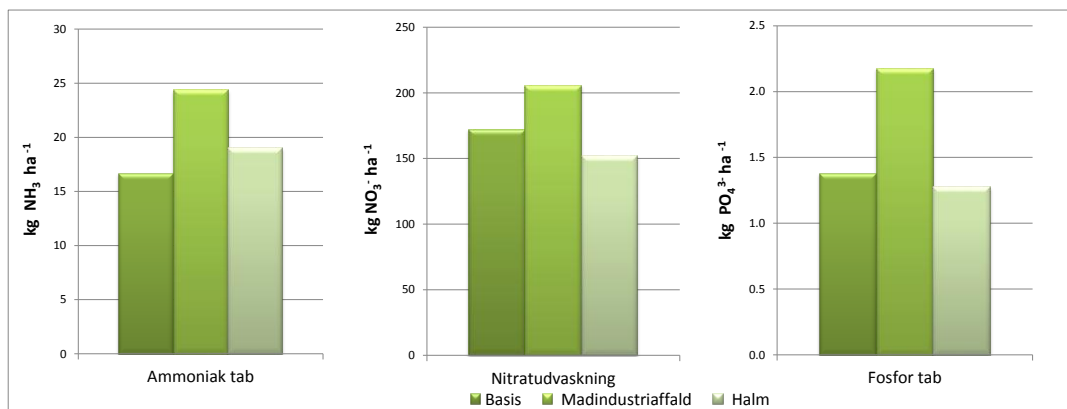
Samlet set viser figuren, at udledningerne fra biogasproduktionen baseret på gylle med fødevareindustriaffald som cosubstrat opvejer fordelene ved at fortrænge naturgas. Ift. N₂O-emissioner er det tydeligt, at halmen repræsenterer en fordel over fødevareindustriaffald.

Til gengæld varierer metanpotentialer mellem forskellige typer biomasse. I figur 6B vises mængden af metan, som produceres i de to biogasscenarier med enten fødevareindustriaffald eller halm som cosubstrat. Metanudledningen er omkring 61 % lavere i biogas–halm-scenariet, og det er dermed tydeligt, at halm som cosubstrat har en bedre klimaprofil end fødevareindustriaffald.



Figur 6B. Udledningen af metan i biogasscenarierne. Gylle afgasses sammen med enten fødevareindustriaffald eller halm. Der tilføjes det samme mængde tørstof af cosubstraterne til biogasanlægget.

Figur 7 viser udledningerne af ammoniak, nitrat og fosfor fra henholdsvis basis-scenariet og de to biogasscenarier.

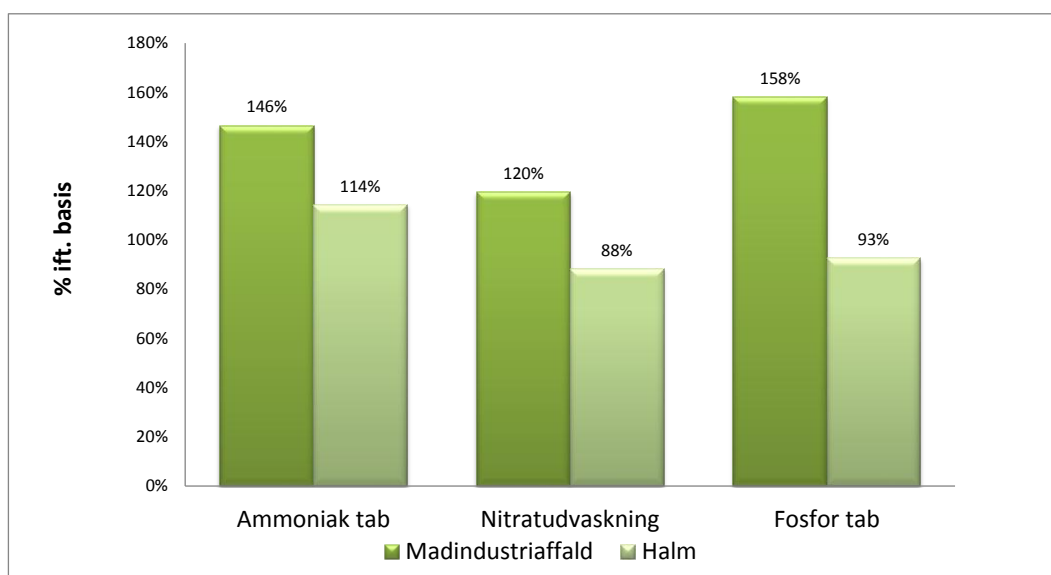


Figur 7. Udledninger af næringsstoffer til miljøet i kg per ha fra henholdsvis basis-scenariet og de to biogasscenarier.

Generelt viser figur 7 en stigning i udledningen af næringsstoffer til miljøet forbundet med afgang af gylle og fødevarerindustriaffald. Det skyldes, at man for at afgasse gylle skal tilføje fødevarerindustriaffald, som har et højt indhold af kvælstof og fosfor, hvilket leder til en større mængde tilgængelige næringsstoffer, som kan udvaskes per FE (functional unit). Endvidere øger bioforgasning andelen af uorganisk kvælstof og dermed også andelen af kvælstof, som har mulighed for at fordampe til miljøet.

Dette betyder videre, at der er en større mængde plantetilgængeligt kvælstof. Meroptagelsen af afgrøderne er dog ikke nok til helt at undgå øget kvælstofudledning. Problemet viser sig at være værst fosfat, som bidrager særligt til ferskvandseutrofiering. Dette skyldes indeholdet af fosfor i fødevarerindustriaffaldet, som tilføres gyllen. Omvendt er indeholdet af kvælstof og fosfor lavere i halmen, der afgasses med gyllen. Dette fører til en optimal optagelse af fosfor og en reduktion i udvaskningen af fosfat på 7 % jf. basis-scenariet.

Der ses også en reduktion i nitratudvaskningen på 12 % jf. basis-scenariet. Den gode sammensætning af halmen er dog ikke nok til at forbygge en stigning i fordampningen af ammoniak, som øges med 14 % ift. basis-scenariet. Det bemærkes dog, at denne stigning er meget mindre end stigningen i fordampning fra biogassen produceret på gylle med fødevarerindustriaffald som cosubstrat.



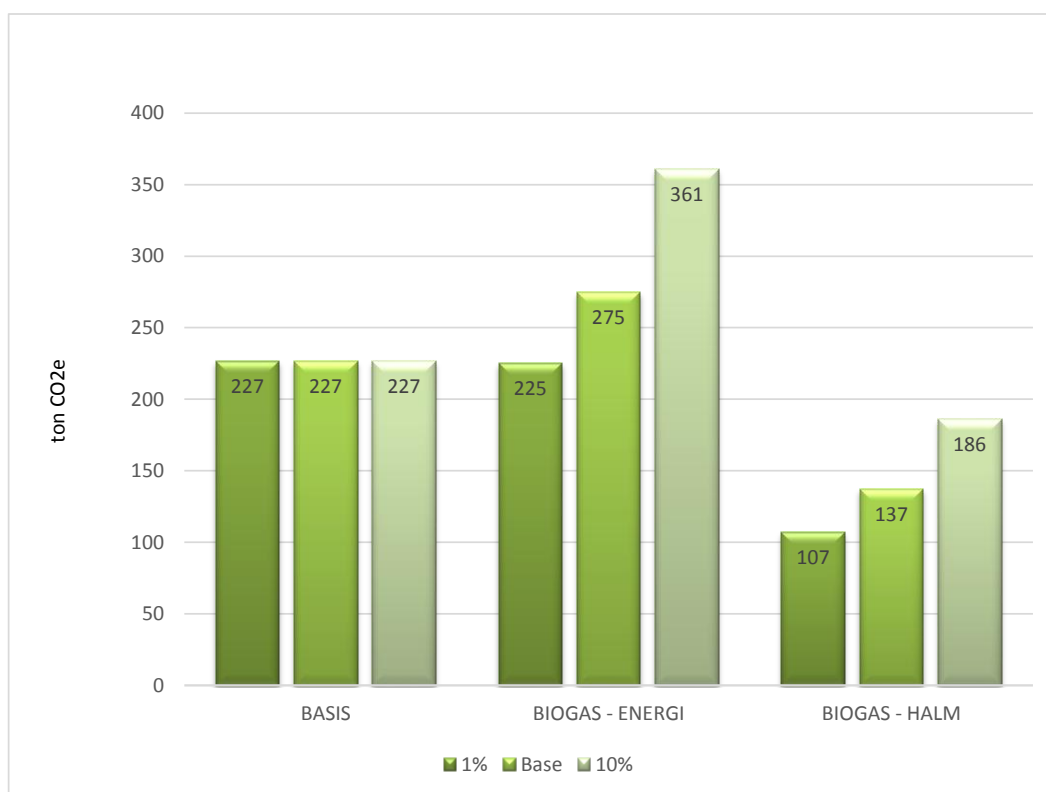
Figur 8. Forøgelse eller reduktion i procent i ammoniakfordampning, nitratudvaskning og fosfatudvaskning.

5.5. Resultater af følsomhedsanalyser

Der blev udarbejdet fem forskellige følsomhedsanalyser for at tjekke resultaternes robusthed. Analyserne viser, at resultaterne er robuste i forhold til alle de parametre, som blev varieret. Der blev ydermere udført massebalanceberegninger for kulstof for at sikre, at der ikke er beregningsmæssige fejl.

5.5.1. Metanlækage

Metanlækage fra både biogas- og opgraderingsanlæg har en væsentlig indvirkning på klimapåvirkningen i begge biogasscenerier (Figur 9). En reduktion på 1 % af metanlækagen både fra biogas- og opgraderingsanlæg, resulterer i en 0,6 % forbedring af biogas-energi-scenariet ift. basis-scenariet. Biogas-halm-scenariet fortsætter med at have store drivhusgasreduktioner. Reduktionen i biogas-energi-scenariet er ikke stor nok til at sige, at scenariet er til decideret fordel for klimaet, da usikkerheden forbundet med denne slags beregninger kan være stor. Det man kan sige er, at når metanlækagen holdes under 1 % kan biogas-energi-scenariet komme på niveau med almindelig håndtering af gylle.



Figur 9. Følsomhedsanalyse af drivhusgaspotentialer (GWP100) med forskellige niveauer af metanlækage fra biogasproduktionen. Den højeste søjle repræsenterer, at 10 % af metanproduktionen lækker, og den laveste søjle repræsenterer et læk på 1 % af metanproduktionen. Udledningen er angivet per funktionelle enhed.

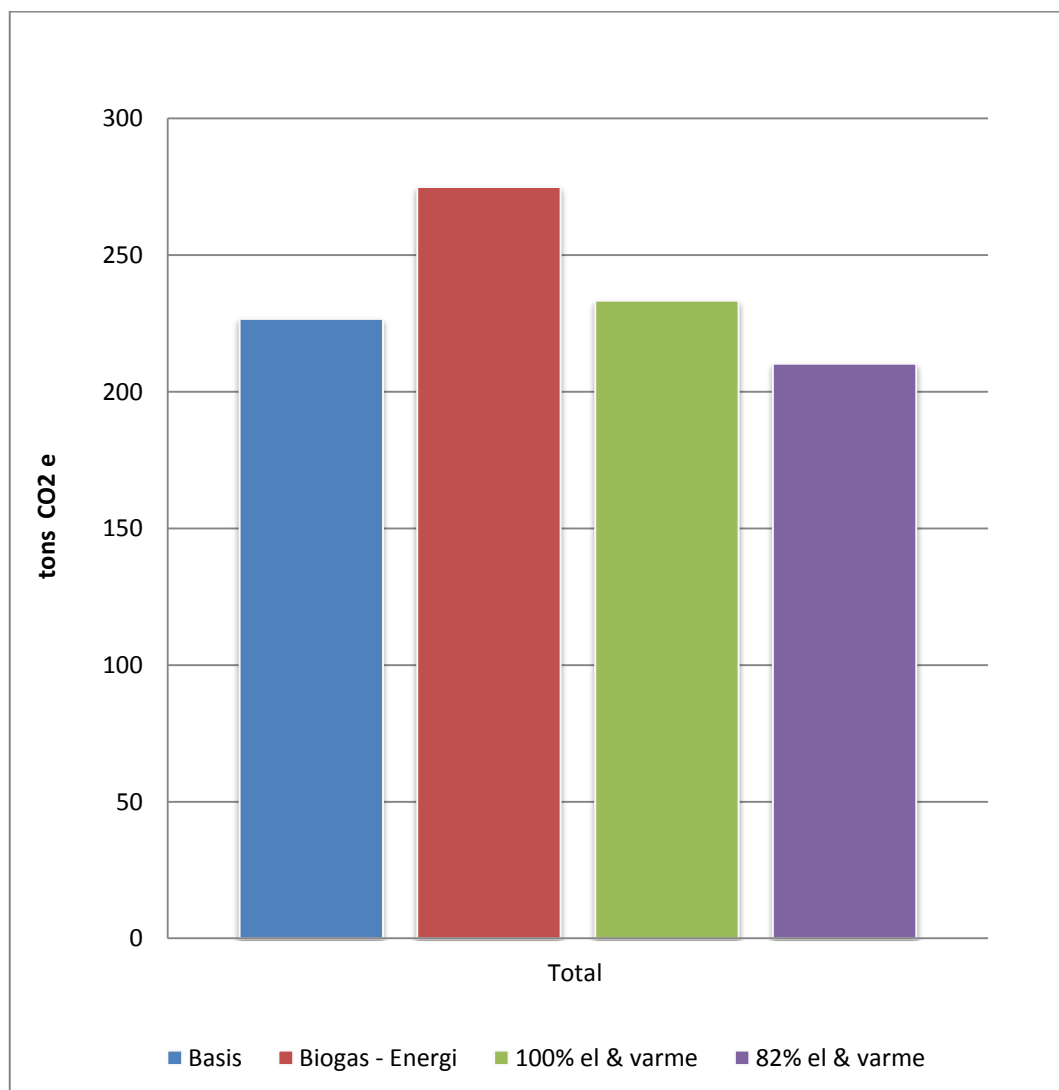
I modsætning hertil kan man se i figur 9, at en metanlækage på 10 % annullerer alle fordele ved at producere biogas med fødevarerindustriaffald som cosubstrat, mens biogas-halm-scenariet fortsat har reducerede drivhusgasudledninger jf. basisscenariet, dog bliver fordelene reduceret med 22 % svarerende til en udledning på 49 ton CO₂e. I dette tilfælde bliver biogas-energi-scenariet 59 % værre end basis-scenariet. Dvs. at biogas-energi-scenariet udleder 134 ton CO₂e mere end basis-scenariet. Selv med usikkerheden viser dette resultat uden tvivl en betydelig klimabelastning, og det tydeliggør, hvor vigtigt det er at holde metanlækager fra anlæggene under kontrol. Under alle omstændigheder kan det ikke antages, at biogas er CO₂-neutralt, da dette kun vil være tilfældet under ideelle omstændigheder, og næppe gøre sig gældende for den danske produktion af biogas, som hovedsageligt er baseret på gylle med fødevarerindustriaffald som supplement.

5.5.2. Forbrændingsanlæg

Formålet med denne følsomhedsanalyse er at tjekke om en anden marginal energikilde eller en lavere energivirkningsgrad i forbrændingsanlægget ville ændre resultaterne. Resultaterne viste sig at være robuste med hensyn til disse parametre.

I biogas-energi-scenariet bliver energien, som nu ikke bliver produceret ved at forbrænde affald i stedet produceret med kul. Der antages en 100 % virknings-

grad i affaldsforbrændingsanlægget. I følsomhedsanalysen bliver den tabte energi produceret fra kul (for el-andelen) og naturgas (for varmeandelen) med 100 % og 82 % virkningsgrad i affaldsforbrændingsanlægget. Situationen, hvor forbrændingsanlægget ikke er så effektivt til at udnytte affaldets energi, repræsenterer et ældre forbrændingsanlæg. Her antages det, at 67 % af energiindholdet omsættes til fjernvarme mens 15 % omsættes til el, baseret på tal fra Energistyrelsen.

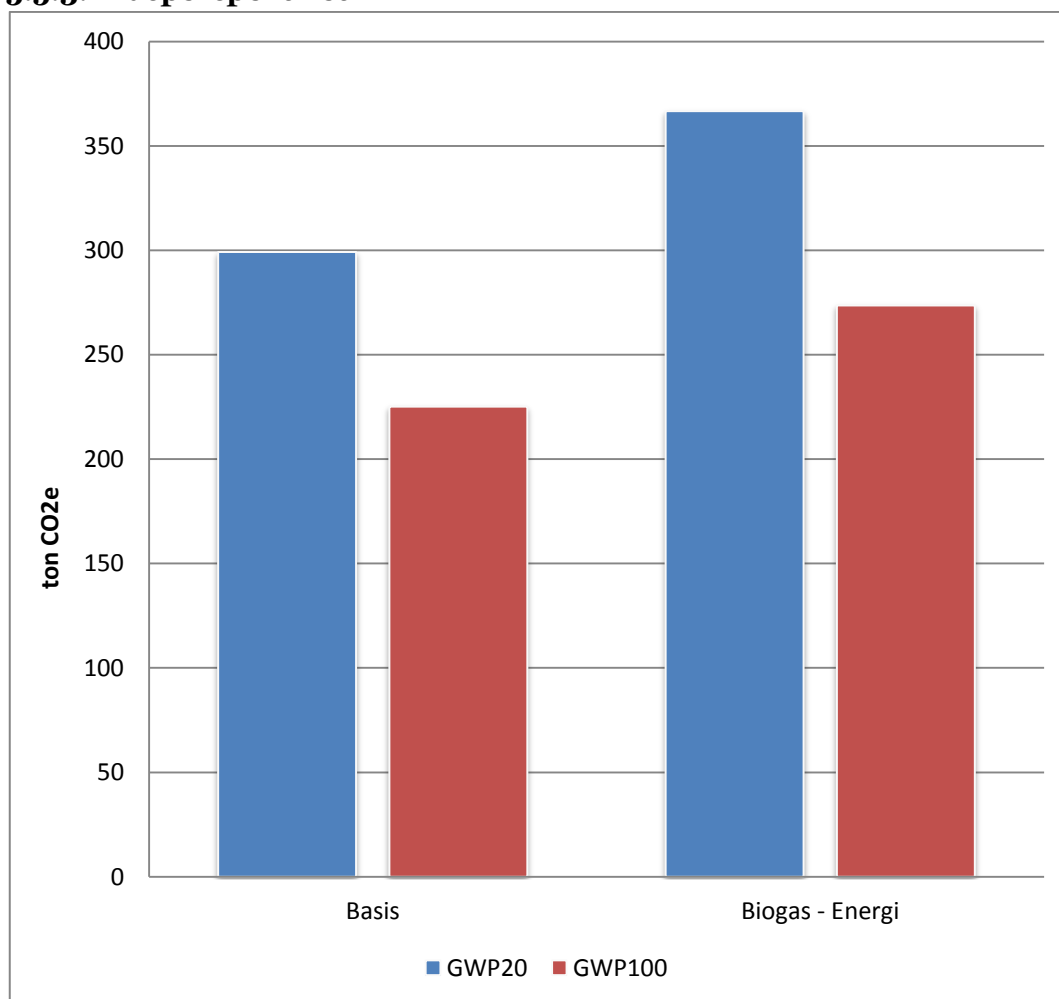


Figur 10. Følsomhedsanalyse af drivhusgaspotentialer (GWP100) med hensyn til forbrændingsanlæggets virkningsgrad og forskellige energisubstitutionskilder. I biogas-energi-scenariet er den manglende energi produceret fra kul i et forbrændingsanlæg med omtrent 100 % virkningsgrad. I ”100 % el & varme” er virkningsgraden den samme, men el-andelen (20 %) produceres fra kul, og varmeandelen (80 %) produceres fra naturgas. I ”82 % el & varme” er forbrændingsanlæggets virkningsgrad 82 % med 15 % kulbaseret el og 67 % naturgas-baseret varme. Udledningen er angivet per funktionelle enhed.

Resultaterne i figur 10 viser, ikke overraskende, at situationen, hvor 100 % af energiindholdet i affaldet fortrænger el og varme fra kul og naturgas, leder til en lavere CO₂-udledning end situationen, hvor der kun bruges kul (biogas-energi).

Imidlertid bliver scenariet, selv med besparelsen fra brugen af naturgas til varmeproduktionen, stadig mere klimabelastende end almindelig gyllehåndtering, dog kun 3 % værre, hvilket er indenfor usikkerhedsintervallet vist i (Croxatto Vega et al., 2014). Med et skift i energikilden og en virkningsgrad på 82 % opnås en beskedne reduktion på 7 % i GWP i forhold til basis-scenariet. Hovedkonklusionen om, at biogas-energi-scenariet i bedste fald har omtrent den samme CO₂-belastning som almindelig gyllehåndtering, ændrer sig dermed ikke, trods en variation af forbrændingsanlægsparametre.

5.5.3. Tidsperspektivet

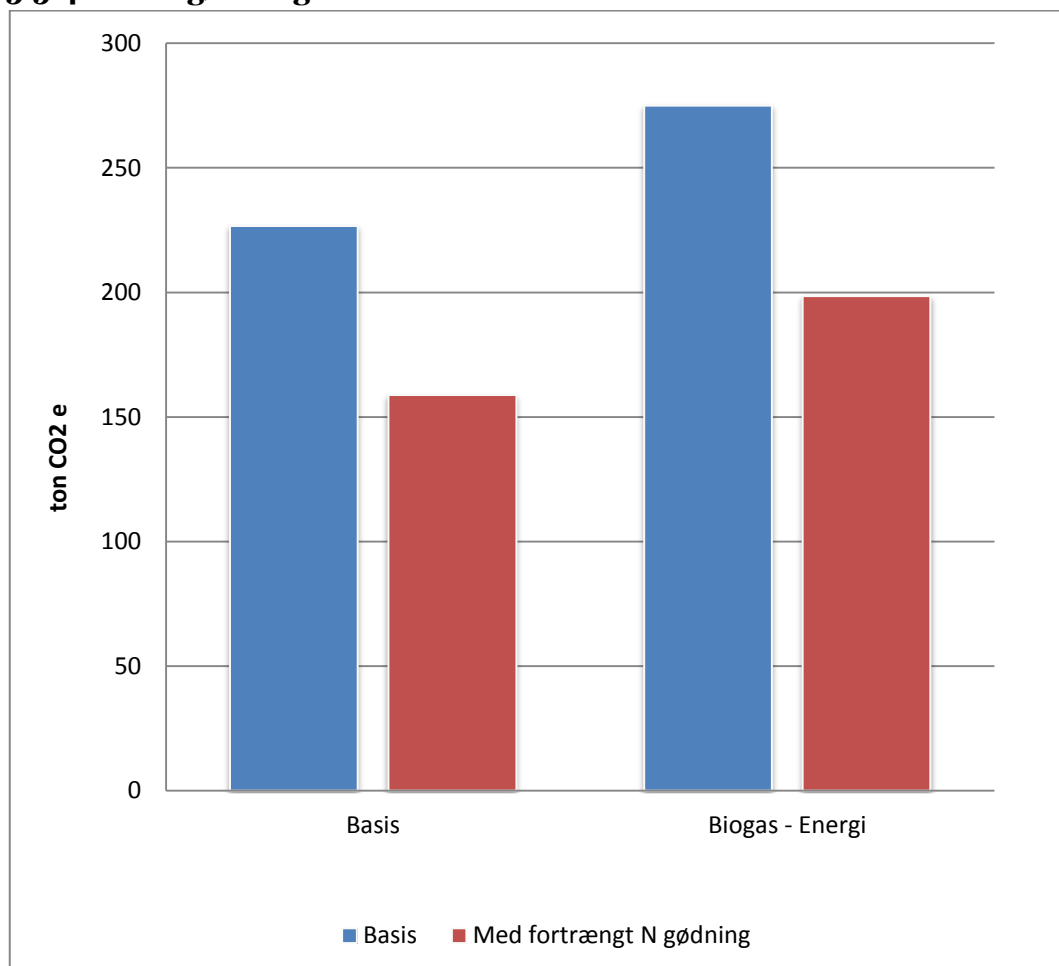


Figur 11. Følsomhedsanalyse af drivhusgaspotentialer (GWP100) med GWP20. Tidsperspektivet ændres fra 100 år til 20 år. Opvarmningspåvirkningen fra metan og lattergas ændres jf. opgørelsen fra IPCC. Udledningen er angivet per funktionelle enhed.

En ændring i tidsperspektivet fremhæver vigtigheden af metanudslip i alle scenarier. Nedbrydelsen af CH₄ i atmosfæren sker på forholdsvis kort tid, hvilket indebærer, at klimapåvirkningen fra metan er større på kort sigt. Derfor er opvarmningsfaktoren for metan 86 kg CO₂ e i GWP20 og 34 kg CO₂ e i GWP100, ifølge de nyeste tal fra IPCC (Myhre et al., 2013). Dette ændrer ikke det overordnede resultat, men er en vigtig faktor som der skal tages hensyn til, når man sætter reduktionsmål for de forskellige drivhusgasser. Rangordningen af de forskellige scena-

rier ændrer sig ikke, men klimabelastningen, i form af CO₂e, er betydeligt større for alle scenarier. Hvis formålet er at opnå en CO₂-reduktion frem til 2030, er det vigtigt at reducere CH₄-udslippet fra biogas- og opgraderingsanlægget så meget som muligt.

5.5.4. Kunstgødning

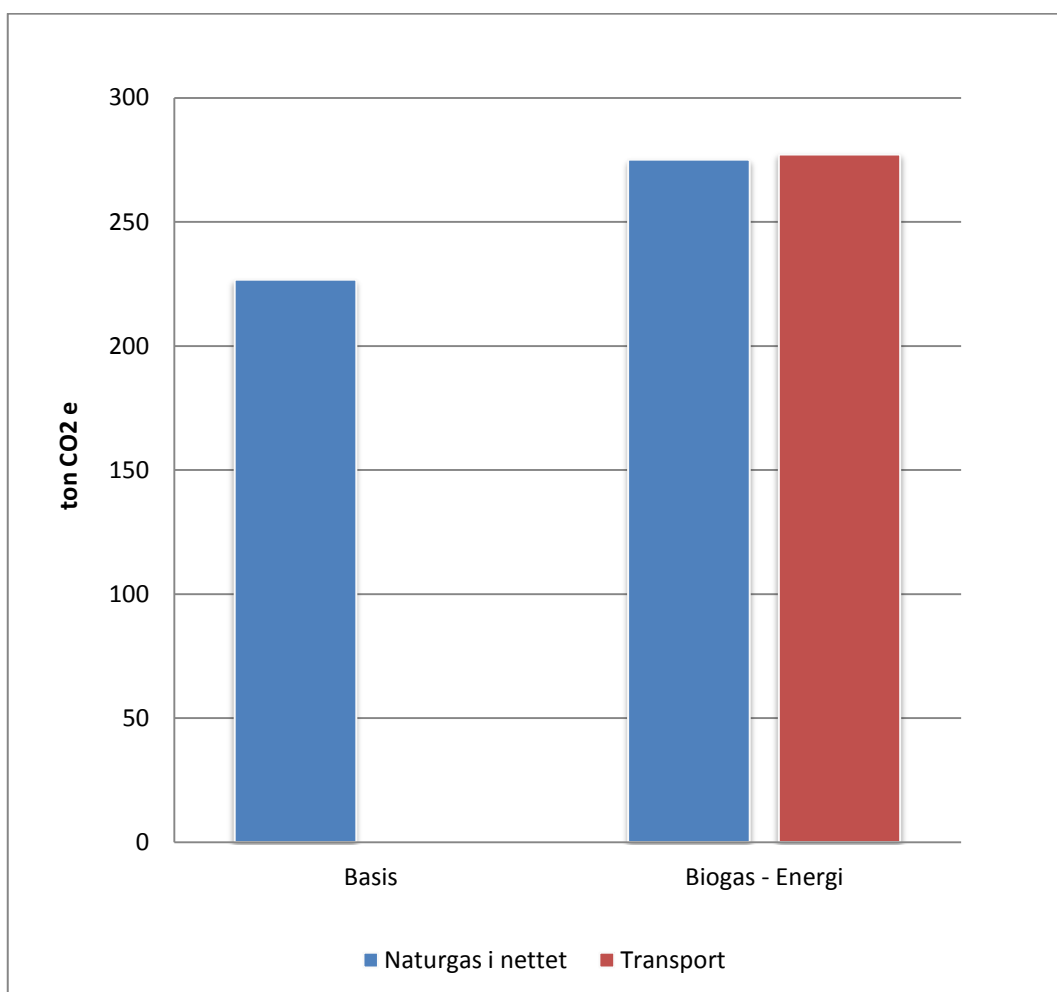


Figur 12. Følsomhedsanalyse af drivhusgaspotentialer med fortrængning af kvælstof-kunstgødning. Dvs. N i den ubehandlede eller afgassede gylle fortrænger N-gødning og derved CO₂-emissioner, når kunstgødningen tilføres markerne. Udledningen er angivet per funktionelle enhed.

Situationen hvor ubehandlet og afgasset gylle fortrænger brugen af N-kunstgødning ændrer ikke på resultaterne. Ved at undgå at producere handelsgødning, undgår man også CO₂-udledningerne forbundet med handelsgødningsproduktionen. Biogasscenarierne fortrænger en større mængde kunstgødning end basis-scenariet, da den afgassede gylle indeholder kvælstoffet fra både gyllen og fødevarerindustriaffaldet. Men selvom biogas-energi-scenariet fortrænger en større mængde kunstgødning, fortsætter det med at være mere klimabelastende end basis-scenariet på de medtagne parametre. Dette skyldes, at resten af CO₂-udledningerne i biogas-energi-scenariets livscyklus er væsentligt større end i basis-scenariet. Drivhusgaspotentialer (GWP₁₀₀) opdelt i livscyklusfaser for denne følsomhedsanalyse findes i bilag 2.

5.5.5. Anvendelse af biogas i transportsektoren

Der er lavet en følsomhedsanalyse for at vurdere et scenarie, hvor biogassen produceret på gylle og fødevarerindustriaffald bruges til bustransport i den offentlige transportsektor. Fordelen ved at kunne bruge biogas i transportsektoren bliver ofte nævnt som en fremtidig og klimarigtig brug af biogas. Imidlertid viser figur 13, at klimabelastningen forbliver uændret ift. den oprindelige model, hvis der bruges biogas i transportmidler med de forudsætninger, der her er anvendt. Dette skyldes, at selvom der spares en større mængde CO₂-emissioner, er der højere emissioner under brugen af biogas ift. diesel. Tallene for denne vurdering er indhentet fra Energistyrelsens rapport om alternative drivmidler, som viser en gevinst ved at bruge biogas til transport (Energistyrelsen, 2012). Sidstnævnte understreger blandt andet også, at biogas er mindre effektivt i en busmotor sammenlignet med diesel, og at udslippet af CH₄ og N₂O under forbrænding af biogassen i motoren er højere end ved dens fossile modstykker. Kombinationen af en lavere effektivitet og et højere udslip af drivhusgasser under kørsel annullerer dermed fordelene ved at fortrænge diesel. Dette tydeliggør, at en høj energivirkningsgrad er en vigtig faktor, når forskellige energiforsyningsmuligheder skal vurderes. Forskellen mellem nærværende rapport og andre studier diskuteres videre i afsnit 6.6.



Figur 13. Følsomhedsanalysen viser forskellen for GWP100 mellem afsætning af biogas i naturgasnettet og brugen af biogassen i transportsektoren. Udledningen er angivet per funktionelle enhed.

6. Diskussion

6.1. Stigning i GWP med biogasproduktion

Det er vanskeligt at sammenligne resultaterne i denne rapport med andre i den videnskabelige litteratur grundet forskellige forudsætninger. Det er imidlertid muligt at sammenligne flere parametre på et mere generelt plan, såsom betydningen af metanlækage, slutbrug af gassen mm. for at sikre et kritisk blik på de beregnede resultater. Der findes heldigvis nogle få peer-reviewed artikler, som kan anvendes til direkte sammenligning, og disse diskuteres nedenfor. Det bemærkes dog, at disse få livscyklusanalyser vurderer organisk husholdningsaffald som supplement til gylle og ikke fødevareindustriaffald. Så vidt vides, findes der ikke livscyklusanalyser eller rapporter, som vurderer de klima- og miljømæssige fordele og ulemper ved at brug organisk industriaffald som cosubstrat i en dansk kontekst.

Der er to vigtige faktorer, som i den nærværende rapport er afgørende for, at biogas-energi-scenariet ikke opnår væsentlige reduktioner i forhold til drivhusgasser. For det første viser det sig, at metanlækagen har stor betydning, og at kun 1 % lækage var nok til, at basis- og biogas-energi-scenariet havde omtrent det samme CO₂e-udslip. For det andet fører brugen af fødevareindustriaffald som cosubstrat til en manglende energi i forbrændingsanlægget, som her antages i stedet at blive produceret med mere klimabelastende kul, hvad enten dette sker i Danmark eller i udlandet. Dette forhold mellem fødevareindustriaffald og produktionen af el og varme i forbrændingsanlægget kan være kompliceret og uddybes yderligere i afsnit 6.2.

Resultaterne i nærværende rapport er sammenfaldende med resultatet i (Croxatto Vega et al., 2014), hvor et tilsvarende scenarie af biogas baseret på husholdningsaffald og gylle også viser en forværring i GWP og et andet tilsvarende scenarie af biogas baseret på halm og gylle, der også viser CO₂-reduktioner. Reduktionerne skyldes, at den alternative anvendelse af halmen i biogas-halm-scenariet er, at halmen ikke pløjes ned i marken, hvilket fører til CO₂- og N₂O-reduktioner fra nedbrydelsen af halmen i marken. Dette resultat holder dog ikke, hvis den alternative anvendelse af halm havde været forbrænding i et forbrændingsanlæg. Dette skyldes, at omdirigering af materialeinput fra et forbrændingsanlæg resulterer i øget kulbaseret energiproduktion og derved øget klimabelastning. Dette resultat understøttes også i (Fruergaard and Astrup, 2011), hvor affaldsforbrænding har en bedre klimaprofil og færre CO₂e-emissioner end biogas. Forholdet mellem affaldsforbrænding og energisubstitution kan ændre sig og afhænger af mange faktorer (se afsnit 6.2). Desuden er forskellen mellem biogas-halm og biogas-energi-scenariet et eksempel på, hvordan den alternative anvendelse af den givne biomasse påvirker drivhusgasbalancen. (Hamelin et al., 2014) og (Croxatto Vega et al., 2014) viser, at scenarier, hvor halmens alternative anvendelse er, at den forbrændes, er omkring 70 % værre end scenarier, hvor halmens alternative anvendelse er, at den pløjes ned.

I modsætning til resultaterne opnået her, viser (Hamelin et al., 2014) en reduktion i GWP med et tilsvarende scenarie af biogas baseret på gylle og husholdningsaffald. Forskellen i resultaterne forklares ved, at der b.l.a. i (Hamelin et al., 2014) modelleres et mere klimabelastende basis-scenarie. Derved giver det højere be-

sparelser, når man undgår dette samtidig med, at biogassen i denne LCA fortrænger el- og varmeproduktion i kraftværker, hvilket også giver en betydeligt større reduktion i GWP i forhold til at fortrænge naturgas i naturgasnettet (Hamelin et al., 2011; Patterson et al., 2011). Imidlertid er den nærværende rapport og (Hamelin et al., 2014) enig i, at en tilvækst i metanlækagen til 10 % forværrer GWP betydeligt, hvor (Hamelin et al., 2014) viser en 50 % forværring og denne rapport 50-63 %. Denne konklusion findes i mange andre livscyklusanalyser (Croxatto Vega et al., 2014; De Vries et al., 2012b; Hamelin et al., 2011; Patterson et al., 2011). Værd at nævne er resultatet i (De Vries et al., 2012b), som viser, at med 5 % metanlækage bliver næsten alle reduktioner opnået af biogas baseret på gylle alene annulleret. Dvs. at hvis metanlækagen ikke er under stadig kontrol, kan den i betydeligt omfang belaste klimaet og underminere de tilfælde, hvor biogasproduktion fører til drivhusgasreduktioner.

6.2. Forhold til energisystemet

Nærværende rapport viser, at cosubstratets forhold til energiproduktionen, dvs. at fødevarerindustriaffald vil blive forgasset, hvis ikke det bruges til at producere energi via forbrænding, kan føre til en øget udledning af drivhusgasser. Der er mange faktorer, som spiller ind på dette forhold og afgør, hvorvidt nettoresultatet bliver et øget eller reduceret CO₂e-udslip. Disse inkluderer:

- Energiudnyttelsen i forbrændingsanlægget
- Placering af forbrændingsanlægget i forhold til andre kraftværker og fjernvarmesystemet
- Energikilder fra kraftværker i området af forbrændingsanlægget
- Biogasanlæggets effektivitet ved omdannelse af kulstof til CH₄
- Biogasmotorens effektivitet i biogasanlægget
- Udnyttelse af varme til fjernvarmeproduktion.

På Temadag om organisk affald forklarede Jacob Møller fra DTU Miljø, hvordan få ændringer i ovenstående parametre kan være afgørende for, om biogasproduktion er mere eller mindre klimabelastende end affaldsforbrænding (Jacob Møller, 2012a). Når parametrene ændres som i tabel 3, går biogasproduktionen fra mere klimavenlig til gradvist mere klimabelastende sammenlignet med affaldsforbrænding.

Tabel 3. Parametrene der ændres i eksemplet for en biogasproduktion fra mere klimavenlig til mere klimabelastende i forhold til GWP. LHV er nedre brændværdi (Jacob Møller, 2012a).

	Biogasanlæg	Forbrændingsanlæg
Biogasproduktion	80% ⇒ 70% af potentiale	
Elproduktion	46% af LHV	20% ⇒ 25% (netto)
Varmeproduktion	0% ⇒ 44% af LHV	75% (netto)

Tabellen viser, at med en mindre effektiv biologisk nedbrydning i biogasanlægget og en lidt højere elproduktion på forbrændingsanlægget, får biogasanlægget en mere negativ klimaprofil end forbrændingsanlægget. Da resultaterne efter æn-

dringerne stadig er tætte er den overordnede konklusion at man, når der skal vælges en behandling af organisk affald, må sikre vurdering af de konkrete omstændigheder, da generelle konklusioner ikke er hensigtsmæssige. Ovennævnte påvirkning forklarer også, hvordan forskellige lignende livscyklusanalyser kan komme til forskellige konklusioner, hvis bare energieffektiviteten på biogas- og forbrændingsanlæggene varieres (Croxatto Vega et al., 2014; Fruergaard and Astrup, 2011; Hamelin et al., 2014; Jacob Møller, 2012b).

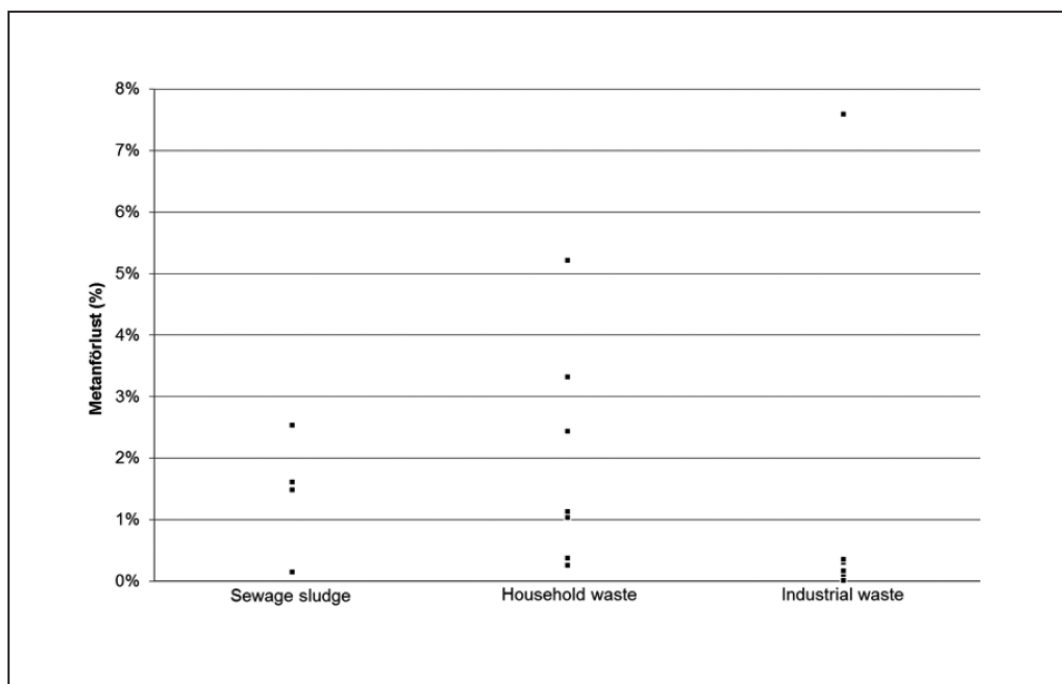
Den fysiske placering af forbrændingsanlægget, som konkurrerer med biogasanlægget om det organiske affald, viser sig også at have stor betydning for udledningen af drivhusgasser. Det viser Jacob Møller (2012b) i en LCA af Biovækst, som er et kombineret biogas-og komposteringsanlæg, som i analysen sammenlignes med Vestforbrændingen i Københavnsområdet. LCA'en viser, at forholdet mellem forbrændingsanlægget og nærliggende og konkurrerende kraftværker og varmeplande gør forbrændingsanlægget mere klimabelastende end Biovækst. Dette forklares ved, at varmeproduktionen fra Vestforbrændingen erstatter varmeproduktionen fra nærliggende modtryksværker, som ikke har mulighed for at regulere forholdet mellem el- og varmeproduktion. Denne situation fører til, at modtryksværket må sænke produktionen af el, og den tabte produktion må så i stedet produceres på kul. I tilfældet hvor varmeproduktionen fra forbrændingsanlægget erstatter varmeproduktionen fra et udtagsværk, som kan regulere forholdet mellem el- og varmeproduktion, vil resultatet være, at udtagsværket vil øge elproduktionen, da der er mindre behov for varmen. Dette fører til, at den marginale kulbaserede elproduktion kan sænkes (Jacob Møller, 2012b). Det vil sige, at i de tilfælde, hvor biogasproduktionen omdirigerer affald fra et forbrændingsanlæg, der bidrager til mere kulbaseret elproduktion gennem indirekte interaktion med et modtryksværk, kan nettoresultatet være en øget klimabelastning. Det modsatte gør sig gældende i de tilfælde, hvor biogasproduktionen fører til mindre kulbaseret elproduktion gennem indirekte interaktion med et udtagsværk. Her vil nettoresultatet være en mindsket klimabelastning. Dermed er det afgørende at identificere den præcise substitution af henholdsvis el- og varmeproduktion, inden man omdirigerer et cosubstrat fra en anvendelse til en anden.

6.3. Metanudledninger og –lækage forbundet med biogasproduktion

Metan er en stærk drivhusgas med et GWP på 34 kg CO₂ med kulstoffeedback ved en tidshorisont på 100 år (Myhre et al., 2013). En betydelig del af drivhusgasreduktionerne, der kan opnås ved at producere biogas, kommer fra en reduktion i metanudledningen under lagringen af gylle. Ved at omdirigere gylle fra almindelig gyllehåndtering på gården til biogasproduktion undgår man den metan som ville blive produceret i de seks måneder rågyllellens ellers står i gylletanken. Afgasset gylle har et betydeligt mindre potentiale for omsætning til CH₄, også selvom den lagres i lang tid, før den tilføres til markerne (Sommer et al., 2001). Trods de store metanreduktioner, som opnås under lagring af afgasset gylle frem for rågylle, er det vigtigt samtidig at arbejde på at reducere metanlækage fra biogas- og opgraderingsanlæg, da dette udslip er afgørende for produktionens samlede klima-

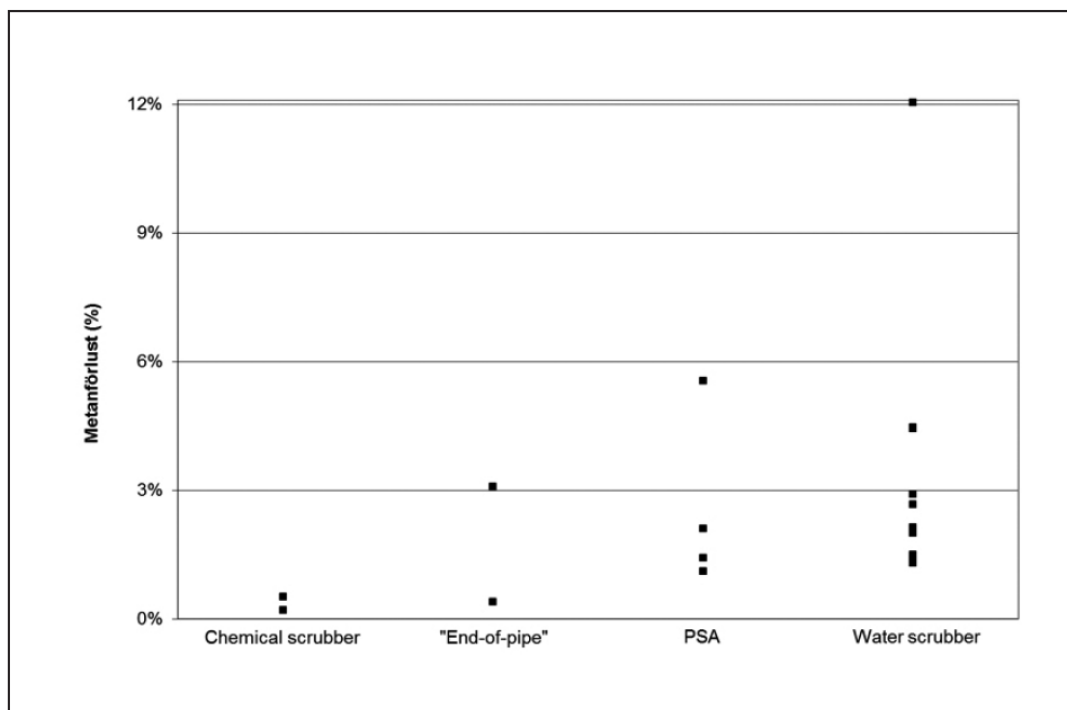
profil. Den eksisterende litteratur på området dokumenterer en betydelig klimabelastning fra metanlækage forbundet med biogasproduktion. Der er bred enighed om, at et højere metanudslip (2,5 % - 10% af produceret CH₄) har negativ indflydelse på den samlede produktions klimaprofil. Biogasproduktionen kommer derved på niveau som fossile brændsler, og et oprindeligt klimavenligt biogasscenarie bliver ugunstigt (Croxatto Vega et al., 2014; De Vries et al., 2012b; Hamelin et al., 2014, 2011; Patterson et al., 2011; Tufvesson et al., 2013). For eksempel fandt Croxatto Vega et al. (2014) i en LCA af cosubstrater til gylle, at en stigning i metanlækage fra 4,3 % til 8 % resulterede i en 11-32 % (12-23 kg CO₂e per ton gylle) forværring af de fire scenariers GWP-påvirkninger. Heraf blev et af scenerierne endda værre end basisscenariet, som bestod i almindelig gyllehåndtering uden biogasproduktion. Forværringen er til dels forklaret ved cosubstraternes metanudbytte, hvor et højere metanudbytte ledte til en relativt større forværring, grundet en tilsvarende større risiko for metanlækage. I det samme studie ledte en reduktion af metanlækagen til 3,3 % til en forbedring af scenariernes præstation på 10-28 % (10-20 kg CO₂e per ton gylle). Et af scenerierne blev endda bedre end det opstillede basisscenarie.

Til trods for at det aldrig har været bevist via målinger, bliver en metanlækage på mere end 1-2 % ofte vurderet som sjælden og som værende forbundet med ældre biogasanlæg (Hamelin et al., 2014, 2011; Wesnaes et al., 2009). I de få tilfælde, hvor lækage fra biogasanlæg er blevet målt, har resultaterne ikke været positive. I Danmark er der kun ét nyligt dokumenteret tilfælde af metanlækagemålinger. Her blev lækagen fra 10 biogasanlæg målt, og man fandt, at de i gennemsnit tabte 4,6 % af produktionen. På grundlag af de målte anlæg, udledte fællesanlæg en relativt højere andel af deres produktion. I det værste tilfælde udledte et fællesanlæg 10 % af produktionen svarende til 123.000 m³ metan eller 2.744 ton CO₂e (Skøtt, 2014). Efter vedligeholdelse kunne disse udledninger nedbringes til 0,6 % af produktionen i gennemsnit. I Canada viste et studie, at metanlækagen i gennemsnit var 3,1 %, hvor lækagen var højest under flaring og vedligeholdelse (Flesch et al., 2011). I Sverige, hvor der er etableret et frivilligt måleprogram for metanemissioner, er udslippet fra biogas- og opgraderingsanlæg blevet målt af mange omgange. I perioden 2007-2009 blev der evalueret 18 biogasanlæg og 20 opgraderingsanlæg. Resultaterne viste, at biogasanlæg udledte i gennemsnit 1,6 % af metanproduktionen mens opgraderingsanlæg udledte 2,7 %. Som det fremgår af figur 14 og figur 15 udledte flere af de evaluerede biogasanlæg mere end 2 % af metanproduktionen eller 3 % for opgraderingsanlæggene. Disse er gode eksempler på, hvordan metanlækage ofte bliver undervurderet. Denne rapport antager de gennemsnitlige niveauer vist af Petersson (2012) som værende tættest på, hvad anlæggene udleder i praksis.



Figur 14. Total metanlækage som procent af produktionen. Data er baseret på de biogasanlæg som deltager i det frivillige emissionskontrolprogram i Sverige (Petersson, 2012).

Som vist ovenfor, udgør opgraderingsanlæg en betydelig kilde til metanlækage, som man derfor bør have fokus på i arbejdet med at mindske biogasproduktionens klimabelastning. Producenterne af anlæggene garanterer maksimale metantab på < 3 - 6 % for Pressure Swing Adsorption (PSA), < 1 - 2 % for vandskrubning, 2 - 4 % for organiskfysiskskrubning og < 0,1 % for kemisk skrubning (Petersson and Wellinger, 2009). Det vil sige, at kun med kemisk skrubning kan der med sikkerhed opnås et samlet metantab på under 1 %. Hvis det antages, at et biogasanlæg i gennemsnit har en lækage på 1,6 %, og et opgraderingsanlæg har et tab på under 0,1 %, vil det medføre, at det samlede metantab i bedste fald vil være 1,7 % af metanproduktionen. Som vist i denne rapport, er dette niveau ikke lavt nok til at sikre betydelige drivhusgasreduktioner. Desuden vises det i afsnit 5.1.1, at basis- og biogas-energi-scenariet med et metantab på 1 % kan nå et break-even niveau. Det bemærkes også, at de mest almindeligt anvendte teknikker til opgradering af biogas er PSA og vandskrubning, som har et højere metantab end 1 %.



Figur 15. Total metanlækage som procent af produktionen Data er baseret på de opgraderingsanlæg, som deltager i det frivillige emissionskontrolprogram i Sverige (Petersson, 2012). Anlæggene er opdelt på typer, hvor "End-of-pipe" refererer til anlæg som behandler deres off-gas.

6.4. Kvælstofudvaskning og fordampning ved brug af afgasset gylle på marker

En ofte refereret fordel med afgasset gylle er, at nitratudvaskningen (NO_3^-) og ammoniakfordampningen (NH_3) reduceres. Desværre er dette ikke veldokumenteret i den videnskabelige litteratur, hvor der findes stor uenighed omkring effekten ved gylleafgasning særligt på NO_3^- -udvaskningen. I dette afsnit diskuteres den videnskabelige litteratur i relation til resultaterne, som præsenteres i denne rapport.

Ved afgasning af gylle øges pH-værdien og andelen af uorganisk kvælstof, mens gyllens viskositet reduceres (Pain et al., 1990; Sommer and Hutchings, 2001). Da NH_3 er en meget flygtig del af uorganisk kvælstof, medfører et øget uorganisk N-indhold og en højere pH-værdi, også et øget potentiale for NH_3 -fordampning (Moeller and Stinner, 2009). Mens afgasset gylle har større tilbøjelighed til at medføre NH_3 -fordampning (Pain et al., 1990; Sommer and Husted, 1995; Sommer and Hutchings, 2001), kan den reducerede viskositet i nogle tilfælde have en modvirkende effekt (Pain et al., 1989; Rubæk et al., 1996). Hvorvidt NH_3 -fordampning øges eller forbliver uændret vil afhænge af de konkrete forhold på marken, f.eks. tilstedeværelse af afgrøder, afgrødetyper, tilførselsteknik, efterafgrøder, jordbundstyper, vejr mm. (Moeller and Stinner, 2009). I Moeller and Stinner (2009) er den øgede pH-værdi og det uorganiske kvælstof fremherskende ift. den reducerede viskositet. Dermed stiger NH_3 -fordampningen sammenlignet med rågylle. Endvidere finder dette studie, at NH_3 -tab kan reduceres ved at ned-

pløje afgasset gylle få minutter efter tilførsel, mens en ventetid på op til 12 timer kun gør en begrænset forskel (Moeller and Stinner, 2009).

I nærværende rapport beregnes det, at gylleforgasning øger NH_3 -fordampningen med 9 kg NH_3 ha⁻¹ for biogas-energi-scenariet og med 2 kg NH_3 ha⁻¹ for biogashalm-scenariet efter den afgassede gylle tilføres med slæbeslanger til marker, der har korn i vækst. Den øgede fordampning skyldes ikke kun, at andelen af uorganisk N grundet afgasning er større, men også, at kvælstoffet i cosubstratet øger den totale mængde N, der tilføres marken. Dette gælder mange cosubstrater og især organisk industriaffald som plejer at indeholde en betydelig højere mængde kvælstof end f.eks. græs. Da gylle sjældent afgasses alene, vil det medføre at en større andel N i den forrådnede gylle og derved øge risikoen for højere NH_3 -emissioner. Dette understøttes af flere LCA'er, der viser at forrådnelse af gylle, ofte iblandet andre materialer, fører til højere NH_3 -emissioner. F.eks. viser Hamelin et al. (2014) en øget forsuringseffekt ved at lave biogas på gylle alene eller på gylle med henholdsvis halm, husholdningsaffald, majs eller kommercielt affald som cosubstrat. Modsat leder anvendelse af fast husdyrgødning som cosubstrat til en reduceret forsuring. Dette resultat er i overensstemmelse med Croxatto Vega et al. (2014), som også finder en øget forsuringseffekt ved biogas lavet på gylle med enten halm eller husholdningsaffald som cosubstrat og en reduceret NH_3 -fordampning med fast husdyrgødning, da der undgås NH_3 -emissioner fra de marker, hvor den faste husdyrgødning ellers var blevet spredt. Andre cosubstrater, som har vist en forøgelse af NH_3 -fordampningen er majsensilage og glycerin samt roetopensilage og DDGS (De Vries et al., 2012b). Det samme studie viser også en stigning i NH_3 -emissioner ved at afgasse gylle alene, og en reduktion udledningen ved brug af græs fra grøftekanter som cosubstrat. Desuden har biogastechnologien en dårligere miljøforsuringsprofil end affaldsforbrænding, idet den afgassede gylle har potentiale for høj ammoniakfordampning når den tilføres markerne, mens forbrændingsanlæg har indbygget sofistikeret røggasfiltrering, der reducerer de forsurende N-udledninger markant (Bernstad and Jansen, 2011; Jacob Møller, 2012a). Der er også højere emissioner af miljøforsurende molekyler, når biogas bruges i transport, som f.eks. højere emissioner af CO , NO_x og andre kulbrinter (Lozanovski et al., 2014). Gylleforsuring ved tilføjelse af svovlsyre, enten i stalden eller før gylleudbringning til marken, har potentiale for at reducere NH_3 -fordampningen samtidig med at forbedre klimaprofilen markant sammenlignet med almindelig gyllehåndtering viser en ny LCA (ten Hoeve et al., 2015). Dette skyldes, at gylleforsuring nedsætter pH-værdien i gyllen markant samtidig med, at tilstedeværelsen af svovl reducerer den mikrobielle aktivitet, som danner drivhusgasser såsom metan og lattergas (Ottosen et al., 2009). Ifølge ten Hoeve et al. (2015) er NH_3 -reduktionen størst, hvis forsuring implementeres i staldene, og der kan således opnås en samlet reduktion på 70 % (reduktionen i stalden plus reduktionen efter gylleudbringning). Mens dette er en god mulighed, hvis der gødes med rågylle, er det ikke optimalt, hvis der skal gødes med afgasset gylle, da biogasanlæg kun kan tåle begrænsede mængder af forsuret gylle (Biogas Taskforce). Reduktionen er ikke lige så markant, hvis gylleforsuring implementeres ved gylleudbringning, hvor der kan opnås op til 30 % reduktioner i NH_3 -fordampning. Det samme mønster gør sig gældende for udledningen af drivhusgasser, hvor staldforsuring resulterer i en mindsket klimabelastning, mens markforsuring leder til øgede emissioner, herunder emissioner fra produktion og til-

førsel af svovlsyre og kalk (ten Hoeve et al., 2015). Derudover kan det være vanskeligt at sænke pH-værdien i afgasset gylle tilstrækkeligt til at opnå de ønskede effekter, da den afgassede gylles pH-værdi i udgangspunktet er meget højere en rågylles (Pacholski, 2015).

Med hensyn til udvaskning af NO_3^- er der i litteraturen beskrevet laboratorieforsøg under meget kontrollerede omstændigheder, der viser, at afgasset gylle leder til mindre NO_3^- -udvaskning og højere udnyttelse af uorganisk N fra afgrøderne, mens feltforsøg finder modsatte resultater (Moeller and Mueller, 2012). Denne forskel bunder formentlig i, at afgasset gylle under laboratorieforsøg øjeblikkeligt bliver iblandet jorden, hvilket reducerer det uorganiske kvælstofab væsentligt (Moeller and Mueller, 2012). Ved gylleafgasning viser Johansen et al. (2013) en øget koncentration på ca. 30 - 40 % NO_3^- i jorden i forhold til rågylle, mens Goberna et al. (2011) finder, at tilførslen af afgasset gylle til ubeplantet jord fordobler udvaskningen af NO_3^- i forhold til rågylle. Til trods for dette nævnes der i Johansen et al. (2013), at den øgede tilstedeværelse af uorganisk N i form af NH_4^+ og NO_3^- kan være til gavn for afgrøderne, så længe gyllen tilføres på det rigtige tidspunkt i afgrødernes udvikling. Hovedpointen er, at det højere indhold af uorganisk N i afgasset gylle ikke garanterer øget N-udnyttelse af afgrøderne eller reduceret udvaskning medmindre nedbearbejdning sker øjeblikkeligt (Moeller and Mueller, 2012).

På samme måde som gør sig gældende for feltforsøg, giver forskellige LCA'er forskellige konklusioner, når det gælder afgasset gylle og marineeutrofiering, som hovedsageligt er forårsaget af NO_3^- udvaskning. F.eks. viser De Vries et al. (2012b) en reduceret grad af marineeutrofiering for afgasning af gylle alene uden cosubstrat, mens Hamelin et al. (2014) viser en stigning, selv med fortrængning af kunstgødning på marken. En øget grad af marineeutrofiering vises også for scenarierne med cosubstrater som halm, husholdningsaffald, kommerciellaffald og haveaffald, mens det modsatte gør sig gældende for fast husdyrgødning som cosubstrat (Hamelin et al., 2014). Croxatto Vega et al. (2014) viser en reduceret grad af kvælstofudvaskning for cosubstrater som halm, husholdningsaffald og fast gødning. I nærværende rapport vises der en stigning i NO_3^- -udvaskningen på 20 % for biogas-energi-scenariet, hvilket er i overensstemmelse med laboratorieforsøg i (Johansen et al., 2013), mens biogas-halm-scenariet giver en reduktion på 12 % jf. basis-scenariet. Dette tyder på, at meget afhænger af, hvilke cosubstrater der iblandes den gylle, som afgasses. Dette gør det videre svært at udpege et cosubstrat som bedre end et andet. Som nævnt i (Croxatto Vega et al., 2014) er det dog klart, at cosubstrater med et højt næringsstofindhold har større tilbøjelighed til at medføre næringsstoffudledninger. En anden konklusion fra LCA'er er, at højere NH_3 -udslip fører til lavere NO_3^- -udvaskning, da NH_3 -fordampning sker først, og der derefter er mindre kvælstof tilbage til udvaskning (Croxatto Vega et al., 2014; De Vries et al., 2012a). Dette er et eksempel på, hvordan miljöhensyn på en parameter kan føre til en belastning af miljøet på en anden parameter. Både fordampning af ammoniak og udvaskning af nitrat kan senere føre til dannelse af lattergas ved nitratreduktion og har derved indflydelse på den endelige klimapåvirkning.

Det er værd at bemærke, at et review af husdyrgødnings håndtering finder modsigende konklusioner, når det gælder biogas og N_2O -udslip (Chadwick et al., 2011).

Dette tyder på, at der er andre faktorer som spiller en vigtigere rolle end gylleleafgasning, og at der mangler viden for at kunne forudsige præcist, hvad der sker på markerne efter gylletilførsel.

Det kan blive svært at kontrollere disse emissioner, hvis ikke gødningsreglerne følger med den nye viden. Gødningsreglernes formål er at forebygge en uforholdsmæssig stor udvaskning og fordampning af kvælstof og er baseret på kvælstofkvoter, som ser bort fra den enkelte bedrifts forhold (Andreas Pacholski, 2015). Dette er ikke optimalt ud fra et rent dyrkningsmæssigt synspunkt, og konsekvensen har været en undergødning på op til 18 % (Pacholski, 2015). Med hensyn til afgasset gylle tillader disse regler, at en producent kan antage, at N-udnyttelsen af afgrøderne for rågylle og afgasset gylle er den samme, eller at de kan antage, at værdien er den oprindelige N-udnyttelse af biomassen, som er tilføjet biogasanlægget. Som tidligere nævnt, er det anerkendt, at forrådnelsesprocessen øger den plantetilgængelige del af kvælstof i biomassen, og såfremt den ”ægte” andel af plantetilgængelig N indgik i gødningsregnskaberne, ville udvaskningen potentielt kunne reduceres relativt. At man ikke skal beregne den plantetilgængelige N efter afgasning er dog bevidst indført som en incitamentsordning for landmændene til at få afgasset gyllen.

6.5. Overgødskning med fosfor og udledning af tungmetaller

En fordel der ofte nævnes ved afgasning af organisk affald, er, at det muliggør returnering af næringsstoffer til jorden, som kun vanskeligt er mulig ved forbrænding. Denne påstand er rigtig med hensyn til kvælstofgødning, men holder sjældent i forhold til fosfor og kalium. Dette skyldes, at markerne hos især svineproducenter typisk har modtaget husdyrgødning år efter år, hvilket har resulteret i høje koncentrationer af disse stoffer i jorden (Hansen et al., 2006). Det betyder videre, at tilførsel af afgasset gylle, som indeholder fosfor fra både gyllen og cosubstratet, er forbundet med en stor risiko for at overgøde marker med fosfor og resultere i øget ferskvandseutrofiering. Dette kan dog undgås, såfremt den afgassede gylle redistribueres eller der sker en egentlig separation. I nærværende rapport vises det, at gødning med afgasset gylle med fødevareindustriaffald som cosubstrat resulterer i omkring 1 kg PO_4^{3-} ha^{-1} mere og 58 % højere eutrofiering end gødning med rågylle. I modsætning til dette fører gødning med afgasset gylle med halm som cosubstrat til en reduktion i fosfatudvaskningen på 7 % sammenlignet med rågylle. Dette er igen et eksempel på, hvordan brugen af forskellige cosubstrater har afgørende indflydelse på den endelige miljøpåvirkning med de forudsætninger, der her er anvendt.

Udvaskningen af fosfat fra afgasset gylle med fødevareindustriaffald som cosubstrat, dokumenteret i denne rapport, er højere end for tilsvarende studier med andre cosubstrater. Dette er bundet i, at fosforindholdet i organisk industriaffald er højere end de cosubstrater, som er anvendt i andre studier. I hvert fald viser disse studier en højere ferskvandseutrofiering ved tilførsel af afgasset gylle med cosubstrater som husholdningsaffald, fast husdyrgødning, kommercielt affald og majs (Croxatto Vega et al., 2014; Hamelin et al., 2014), og dette er tilfældet selv med en fortrængning af fosfor fra kunstgødning (Hamelin et al., 2014). De ovennævnte studier er alle LCA'er, og der findes desværre ingen feltforsøg på gylleleaf-

gasningens effekt på udvaskning af fosfor (Moeller and Mueller, 2012). Til gengæld er det anerkendt, at gylleseparering kan være et effektivt middel til at redistribuere næringsstoffer, hvor det er nødvendigt, dvs. at transportere fosfor væk fra de områder, hvor der findes en høj koncentration til områder med behov for yderligere tilførsel. Gylleseparering har mange fordele, herunder lettere håndtering og transport af den faste gødning, men også nogle udfordringer, såsom større risiko for N-tab (Moeller and Mueller, 2012). Disse forhold må afvejes og balanceres i den konkrete vurdering af, hvorvidt gylleseparering kan være en fordelagtig teknologi.

Flere studier har vist, at andre teknologier, som f.eks. forbrænding, kan være mindre miljøbelastende, og at udbringning af afgasset gylle kan være forbundet med en større belastning for miljøet på grund af toksiciteten af tungmetaller, som kan ophobes i marker (Fruergaard and Astrup, 2011; Jacob Møller, 2012a). Disse resultater skal dog tages med forsigtighed, da modellering af toksicitet stadig er usikkert. Ikke desto mindre er risiciene reelle og bør derfor indgå i vurderingen af, hvilken teknologi der vil være mest fordelagtig.

6.6. Påvirkning af end-use

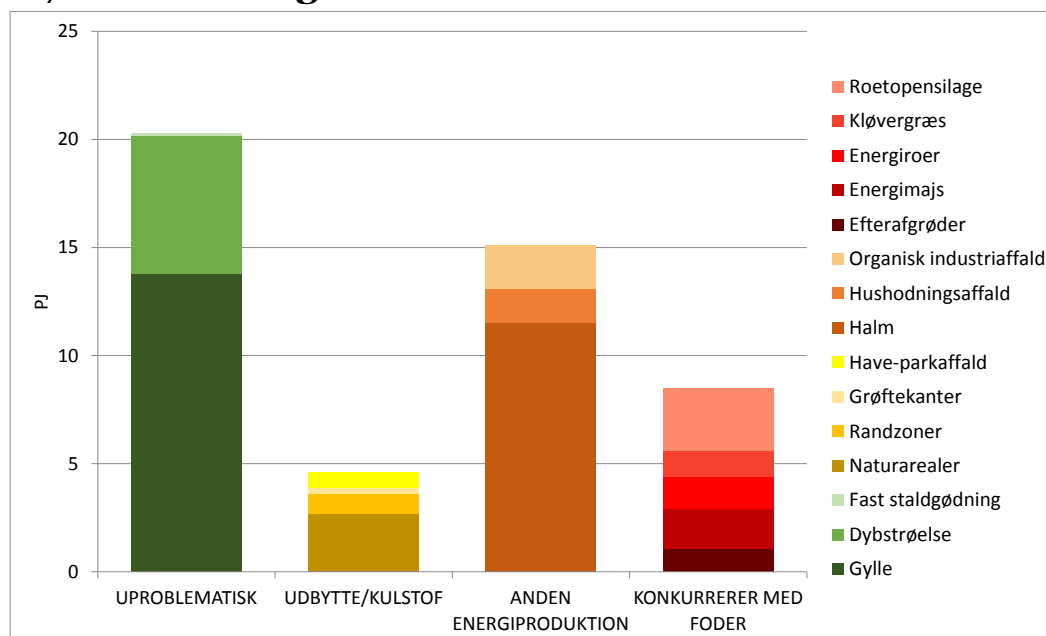
LCA'er viser, at biogas' end-use har indflydelse på biogasproduktionens samlede klimaprofil (Hamelin et al., 2011; Patterson et al., 2011). Disse studier er enige om, at der kan opnås de største reduktioner ved fortrængning af el- og varmeproduktion i kraftværker, så længe udnyttelsen af varmen ikke mindskes betydeligt. I sammenligning med CHP viser Hamelin et al., (2011), at afsætning af biogas i naturgasnettet medfører en mindsket CO₂-gevinst på 29 %. I Patterson et al. (2011) vises det, at den bedste klimaprofil opnås gennem afsætning i CHP med 80 % varmeudnyttelse. Det bemærkes dog, at såfremt det ikke er muligt at udnytte varmen i tilstrækkelig grad, vil biogas til transport være det mest fordelagtige i et klimaperspektiv. I Patterson et al. (2011) er den alternative anvendelse af affaldet, der bruges til biogasproduktion, dog bortskaffelse på en losseplads, som, hvis undgået, giver en stor CO₂e-reduktion. Dette scenarie er derfor ikke sammenligneligt med danske forhold. Andre studier viser også, at brug af biogas til transport er klimamæssigt fordelagtigt (Energistyrelsen, 2012; Kliucininkas et al., 2012; Lozanovski et al., 2014). Dette resultat findes ikke i nærværende rapport, hvor følsomhedsanalysen af tilslutning af biogas til transportsektoren viser, at resultatet forbliver uændret (afsnit 5.1.5). Dette er tilfældet, selvom besparelsen fra produktion og brug af diesel er større end ved at fortrænge naturgas i nettet, fordi emissionerne forbundet med kørsel ligeledes er tilsvarende større. Kun når metanlækage fra produktionen er reduceret til nul, ville biogas til transport kunne medføre en beskedent reduktion i udledningerne. Forskellen mellem andre studier og nærværende rapport skyldes hovedsageligt metodikken, som i disse studier ikke viser påvirkningen af den alternative anvendelse af biomassen (Kliucininkas et al., 2012; Lozanovski et al., 2014). Det er værd at nævne, at biogas lavet på gylle med halm som cosubstrat anvendt til transport højst sandsynligt vil føre til drivhusgasreduktioner, så længe forbrænding ikke er halmens alternative anvendelse.

Fordelen ved at kunne lagre den producerede biogas, indtil der er behov for at bruge den, er ikke med i de fleste LCA'er af biogasproduktion. Denne fordel er et vigtigt aspekt i en fremtid med en potentielt større andel af svingende sol- og

vindenergi, og en evaluering af biogasproduktionen bør tage højde for dette. Biogas kan dog også fortrænge andre ikke-fossile energiformer. F.eks. kan termisk forgasning af organiske restprodukter have en væsentligt bedre klimaprofil og en højere energiudnyttelse end biogas, men teknologien er i risiko for en "lock-in", såvel økonomisk som ressourcemæssigt, såfremt biogassektoren udbygges betydeligt.

Resultaterne fra denne rapport stemmer overens med andre studier på området, når det gælder udledningerne af CO, NO_x, og CH₄ samt effektiviteten af biogasmotoren i biler og busser, som alle er lavere end for dieselmotoren (Energistyrelsen, 2012; Kliucininkas et al., 2012; Lozanovski et al., 2014). Endvidere viser Lozanovski et al. (2014), at brugen af biogas til transport øger risikoen for eutrofiering og forsurening på tværs af flere europæiske lande. Dette skyldes fornævnte stigning af CO, NO_x, og kulbrinter under produktion og brug af biogassen.

6.7. Klimavenlig biomasse som cosubstrat



Figur 16. I denne figur fordeles biomasse i grupper efter deres miljøprofil, baseret på denne rapport's resultater. Grønne farver = nettofordel for miljøet. Spektret bliver gradvist mere miljøbelastende mod højre og ender med Røde farver = nettobelastning af miljøet. Værdier i PJ er fra Biogas i Danmark – status, barrierer, og perspektiver (Energistyrelsen 2013).

På baggrund af de mange parametre diskuteret i denne rapport, som påvirker biogassens miljøprofil samt LCA'er som vurderer forskellige cosubstrater til gylle i en dansk kontekst, fordeles de forskellige typer biomassen i fire overordnede kategorier: 1) Uproblematisk 2) Udbytte/Kulstof 3) Anden energiproduktion og 4) Konkurrerer med foder.

6.7.1. Uproblematisk

Den grønne biomasse dækker gylle, dybstrøelse og fast staldgødning og er karakteriseret som forholdsvis uproblematisk, udover betydelige tekniske problemer ved anvendelse i biogasanlæg. Dens anvendelse i biogasproduktion fører med høj

sandsynlighed til relativt store CO₂-reduktioner (De Vries et al., 2012b; Hamelin et al., 2011). Denne biomasse udgøres af ægte affaldsprodukter, som ikke konkurrerer med andre anvendelsesmuligheder, herunder andre former for energiproduktion. I forhold til forsyning, har denne biomasse et større potentiale for at øge forsyningen (se afsnit 6.4). Dette betyder, at en miljøoptimal profil for denne biomasse, kun kan opnås ved at forbedre tidsplanen for tilførsel til marker, tilførselsteknik, og mængden der tilføres. Dette kan sandsynligvis realiseres gennem en forbedring af de nuværende gødningsregler. Samtidig er det også for disse biomasser helt afgørende, at metanlækagen holdes på et meget lavt niveau (helst <1 %) i alle led (inkl. vedligehold mm.), da klimaprofilen ellers kan blive negativ.

6.7.2. Udbytte/Kulstof

Den gule biomasse inkluderer have-parkaffald samt høst fra grøftkanter, randzoner og naturarealer. Selvom denne biomasse højst sandsynligt fører til betydelige CO₂-reduktioner, som vist i De Vries et al. (2012b) med et scenarie af biogasproduktion med gylle og grøftkantegræs, kan den kontinuerlige fjernelse af biomasse fra disse arealer føre til lavere kulstoflagring i jord og derved lavere frugtbarhed og udbytte. Som vist i Schjønning et al. (2009) vil årlig fjernelse af halm fra landbrugsområder medføre et fald i frugtbarhed og kulstoflagring i jorden. Der findes ikke studier, som forklarer, hvad produktiviteten kan forventes at være ved årlig fjernelse af restprodukter fra naturarealer og heller ikke, hvad udbyttet kan blive fra grøftkanter eller randzoner på sigt. Der bemærkes videre, at randzonearealer pr. definition ikke gødes og har til formål bl.a. at fange overskydende kvælstof og fosfor fra landbrugsområder. For at denne biomasse kan opretholde et tilstrækkeligt udbytte til at forsyne biogasanlæggene, vil det formentlig kræve en vis brug af kunstgødning. Have-parkaffald derimod samles i udgangspunktet dels til kompostering, dvs. til gødningsformål, og dels til energiproduktion i forbrændingsanlæg. Herudover er det muligt, at omdirigering af have-parkaffald til biogasanlæg kan lede til stedsvis mangel på kompost og jordforbedringsstoffer eller til energitab fra manglende forbrænding. Disse konsekvenser bør vurderes grundigt, før der ændres anvendelse af denne type biomasse. Det skal også sikres, at produkterne (herunder græs fra naturarealer) ikke har eller kan have en mulig foderværdi.

6.7.3. Anden energiproduktion

Den orange biomasse inkluderer organisk industriaffald, husholdningsaffald og halm. Nærværende rapport viser, at når et cosubstrat kan anvendes til andre former for energiproduktion, som f.eks. forbrænding, er der stor risiko for, at omdirigering af biomassen til biogasproduktion fører til højere CO₂e-udslip. Hvorvidt dette er tilfældet vil afhænge dels af energisystemet i området omkring biogasanlægget samt af energivirkningsgraden for den fortrængte form for energiproduktion (se afsnit 6.2). I den sammenhæng har biogasproduktion en begrænset energiudnyttelse, idet kun ca. halvdelen af kulstoffet i biomassen omdannes til energi, hvor andre energiproduktionsmetoder kan opnå tæt på 100 % omdannelse. På baggrund af dette er nye teknologier, som metanisering af biogas ved elektrolyse eller den så kaldte Low temperature Circulating Fluidised Bed (LT-CFB) termisk forgasning, bedre egnet til at få energien ud af biomasse eller til at supplere biogasproduktionen. Sidstnævnte er særligt velegnet til at håndtere tør biomasse, som f.eks. halm, og taber, i sammenligning med forbrænding, ikke kulstof, som

kan forbedre jordstrukturen, eller fosfor, som er en begrænset ressource. I stedet lagres der med denne teknologi op til 9 % kulstof i jorden i mere end 100 år, dvs. at der trækkes kulstof ud af atmosfæren, som bindes i jorden. Endvidere er det vist, at man med halmkoks kan reducere udvaskningen af næringsstoffer og øge kerneudbyttet (Hansen et al., 2015; Ahrenfeldt, 2015; Skøtt, 2015). Dette tyder på, at nogle former for biomasse kan udnyttes bedre gennem anden teknologi end biogas. Der er dog behov for betydeligt mere forskning for at afklare dette med sikkerhed.

Udover konkurrence med andre former for energiproduktion viser denne rapports analyse, at brug af fødevarerindustri- og husholdningsaffald medfører stor risiko for øget udvaskning og eutrofiering samt risiko for øget toksicitet med f.eks. tungmetaller, hvilket er i overensstemmelse med andre studier (afsnit 6.4 og 6.5).

6.7.4. Konkurrerer med foder

Den røde biomasse inkluderer efterafgrøder, energimajs, energiroer, kløvergræs og roetopensilage. Disse typer for biomasse har det til fælles, at de, eller de arealer de dyrkes på, kan bruges til foder og fødevarerproduktion, og at en omdirigering til biogasproduktion medfører stor risiko for øgede udledninger andre steder i systemet grundet fødevarerproduktion, som så skal ske andetsteds. Dette har i mange tilfælde vist sig at være forbundet med en betydelig klimabelastning. (Chrintz, 2014, 2013).

Da der kan være store klima- og miljøudfordringer forbundet med at udnytte dele af den opgjorte biomasse til biogasproduktion, er biogaspotentialet i Danmark sandsynligvis reelt set betydelig lavere end de teoretiske potentialer, der ofte refereres til (Biogas Task Force, 2014; Birkmose et al., 2013). Samtidig kan tekniske og økonomiske udfordringer forbundet med brug af de mest klima- og miljøvenlige biomassetyper som cosubstrat være så store, at dette kan reducere det reelle potentiale yderligere.

7. Biogas i Danmark nu og i fremtiden

Biogas er hovedsagelig opfattet som en klima- og miljøvenlig form for energiproduktion, og der er på nuværende tidspunkt ikke særlige krav til biogassektoren om at sikre CO₂-reduktioner eller et miljøoptimalt brug af den forrådnede biomasse. Som vist i denne rapport, er det dog ikke garanteret, at biogasproduktion er særligt klima- eller miljøvenligt. Dog kan implementering af de tilstrækkelige krav og reguleringer på området bidrage til, at biogas i højere grad bliver et brugbart virkemiddel i samspil med andre energiformer.

Rapportens analyse har også vist, at metanlækagen ofte er større end normalt antaget, og at der mangler systematiske metoder samt krav til måling og reduktion af disse emissioner. At minimere metanlækagen er fuldstændig afgørende for at opnå de nødvendige CO₂-reduktioner eller for at komme på samme udledningsniveau som ved almindelig gyllehåndtering. Teknologien til at lokalisere lækager eksisterer, og det har vist sig at være praktisk muligt at nedbringe disse emissioner (Skøtt, 2014). Der er derfor behov for politisk opbakning til at oprette et system for emissionskontrol og etablere en løbende obligatorisk og uvildig monitoring som del af anlæggets miljøgodkendelse, også dækkende de lækager der opstår i forbindelse med uheld og vedligehold.

Analysen har også vist, at klima- og miljøprofilen for biogasproduktionen afhænger af den biomasse, der anvendes. Der findes et bredt spektrum af biomassetyper, varierende fra de meget klimavenlige (gylle, dybstrøelse) til de relativt klimabelastende (energiagrøder). En forbedret effektivitet i biogasprocessen er en faktor som med sikkerhed kan bidrage til at forbedre klimaprofilen for meget af den mindre klimavenlige biomasse. Problemet i dag er, at meget af biomassen kun forrådningsdelvist (50-60 % nedbrydning), og at den CO₂ som dannes under processen udledes uden at være forbundet med egentlig energiproduktion. Hvis nedbrydning af biomassen effektiviseres, og den dannede CO₂ udnyttes til at lave metan, f.eks. ved at bruge elektrolyse, kan det muligvis forbedre biogassens klimaprofil. Det skal dog bemærkes, at der ikke findes en LCA på emnet, hvilket vil være nødvendigt for en mere sikker afklaring. Endeligt er der behov for analyser til at afklare, om en given biomasse, forbrændt på forbrændingsanlæg, vil udgøre en klimafordel eller ulempe, hvis den i stedet bliver brugt til biogasproduktion. Dette kræver en analyse af energisystemet i området omkring biogasanlægget. Endvidere er noget af den biomasse, som også kan forbrændes, som f.eks. halm, muligvis bedre udnyttet ved at bruge andre teknologier til at genvinde energien, som f.eks. pyrolyse. Dette skal også vurderes med en LCA for en mere sikker afklaring.

Uden at vurdere de ovennævnte faktorer er risikoen i dag, at man etablerer en biogasproduktion, som reelt ikke har de klima- og miljøfordele, som man ellers har forudsat politisk, og som danner grundlag for de økonomiske støttemidler. Endvidere er det sandsynligt, at støttemidlerne skal indrettes anderledes for at sikre en mere klimavenlig biogasproduktion.

Endeligt udfordrer resultaterne fra denne rapport påstande om, at biogas reducerer ammoniakudledningen. Den øgede mængde uorganiske kvælstof, den højere pH-værdi samt det faktum, at der med afgasset gylle tilføres en større mængde N

(cosubstratets N) gør, at den forrådnede biomasse er forbundet med en risiko for højere ammoniakudledninger. Det endelige resultat vil afhænge af forholdene i marken. Desuden er der også potentiale for øget fosfatudvaskning fra afgasset gylle, som også indeholder fosfor fra cosubstratet. Ift. de nævnte næringsstofsproblemer har biogasanlæggene dog et stort potentiale for at være et effektivt værktøj til kontrol af disse emissioner. Når gylle samles på biogasanlæg, er der mulighed for at implementere state-of-the-art behandlingsteknikker efter, at gyllen afgasses. Dette inkluderer bl.a. gylleseparering, som kan være brugbart til at omdirigere fosfor fra steder med for høj en koncentration til steder, hvor der er behov for øget fosforgødning. Hvis gylle separeres, giver det også mulighed for at behandle væskedelen af gylle med f.eks. forsuring, som potentielt kan reducere N_2O , CO_2 , og NH_3 -emissioner fra markerne væsentligt. Disse skridt vil bidrage til at forbedre biogassens klima- og miljøprofil betydeligt.

Biogassektoren modtager betydelige tilskud, og uden disse ville det ikke være muligt for biogasanlæggene at have en acceptabel driftsøkonomi. En restrukturering af tilskuddene kan være til gavn for både klima, miljø og biogasproducenter, såfremt det gentænkes fra et klima- og miljøperspektiv. Til gengæld kan dette medføre, at det samlede potentiale for produktion af biogas i Danmark mindskes betydeligt sammenlignet med de teknisk mulige potentialer, man ofte ser opgjort.

7.1. Krav og incitament

I dette afsnit præsenteres en række forslag og anbefalinger til, hvordan biogassens klima- og miljøprofil kan optimeres med udgangspunkt i den forudgående afsnit.

- Etablering af et system for obligatorisk metanemissionskontrol som en del af miljøgodkendelsen for biogasanlæg, nye såvel som gamle. Et sådant system skal inkludere hyppige målinger af metanlækage gennemført af en ekstern myndighed, også under vedligehold og evt. flaring.
- Gentænkning af tilskudssystemet til biogasproduktion. På nuværende tidspunkt gives tilskud til biogasproduktion per MJ biogas, som afsættes i enten kraftværker, naturgasnet eller i transportsektoren. Et forslag er at udarbejde et differentieret tilskud, baseret på biomasseblandingen, som biogasanlægget modtager. Dette kunne være et højt tilskud til biogas baseret på gylle og dybstrøelse og et lavt eller negativt tilskud til den biogas, der er baseret på energiafgrøder. For yderligere at fremme en bæredygtig biogassektor skal der også stilles krav om en ordentlig vurdering af energiområdet, når forbrændingsklar biomasse ønskes brugt til biogasprocessen. Disse inkluderer halm, husholdningsaffald og det meste fødevarerindustriaffald.
- Revidering af gødningsreglerne, således at de tager hensyn til afgasset gylles kemiske karakteristika og sikrer brug af de mest effektive tilførselsteknikker. Desuden skal biogasanlægget bruges til at optimere og omdirigere næringsstofferne til steder, der har behov for dem og til at mindske uønskede emissioner. Her udgør forventede skærpede krav til ammoniakfordampning generelt en særlig udfordring, når det gælder afgasset gylle.
- Vurdering af alternative behandlingsteknologier for de enkelte biomassetyper for at afklare, om biogasprocessen er den mest fordelagtige ud fra et klima- og

miljøperspektiv. Dette betyder, at biogasanlæggene ikke skal regne med fremover at kunne "sætte" sig på en bestemt type biomasse.

8. Konklusion

Resultaterne præsenteret i denne rapport viser, at den mest typiske form for biogasproduktion i Danmark (gylle med fødevarerindustriaffald som cosubstrat) ikke er forbundet med CO₂-reduktioner og i bedste fald er på samme niveau som almindelig gyllehåndtering med de her valgte forudsætninger. Dette skyldes, at scenariet fører til yderligere kulbaseret elproduktion, grundet manglende el- og varmeproduktion fra affaldsforbrændingsanlæg samt metanlækage forbundet med produktionen af biogas. For at biogas kommer på samme udledningsniveau som almindelig gyllehåndtering, skal metanlækagen fra biogas- og opgraderingsanlæg holdes under 1 %, et niveau som i praksis kan være vanskeligt at opnå. De gennemførte følsomhedsanalyser, understøtter resultaternes robusthed. Bl.a. viser følsomhedsanalysen af biogas i transportsektoren, at biogassens klimaprofil ikke er bedre ved at bruge biogas til transport. Endvidere vises det, at der er stor forskel på klimaprofilen af biogas lavet med forskellige cosubstrater. Substrater som fast staldgødning, dybstrøelse og gylle kan opnå de største drivhusgasreduktioner, når de afgasses alene. Udover disse er de andre potentielle biomassetyper præget af udfordringer, som skal håndteres for at sikre en positiv klima- og miljøprofil. Visse typer af biomasse, såsom energiafgrøder, bør slet ikke bruges til biogasproduktion.

Biogasprocessen ændrer den kemiske sammensætning af gylle, hvilket øger risikoen for ammoniakfordampning. Denne risiko kan mindskes ved brug af efterbehandlingsteknikker, såsom forsuring, som i stort omfang vil være gavnlige at implementere.

For den biomasse, som kan udnyttes i forbrændingsanlæg såvel som i biogasanlæg, viser den videnskabelige litteratur, at der er mange faktorer, som i samspil afgør om biomassen i et klima- og miljøperspektiv er bedre udnyttet i det ene eller andet anlæg. Disse faktorer inkluderer biogasanlæggets effektivitet i omdannelsen af kulstof til metan, samt samspillet mellem de biogas- og forbrændingsanlæg, som er i konkurrence om den samme biomasse. En grundig vurdering af disse faktorer er nødvendig for at afklare biomassens optimale anvendelse. Da biogasteknologien ikke er særlig effektiv sammenlignet med andre teknologier, vil det i mange tilfælde vil være bedre at bruge den tungtomsættelige biomasse med højere energivirkningsgrad. Det er ikke kun i forbrændingsanlæg, men også ved termisk forgasning med f.eks. pyrolyse-teknologien, som sikrer, at det tungtomsættelige kulstof kommer tilbage i jorden.

Endeligt er der ingen tvivl om, at biogas er kendetegnet ved fordelene af at være en energiform, som kan lagres. Dette bliver stadig vigtigere i fremtiden, efterhånden som energisystemet med høj sandsynlighed bliver mere præget af svingende energi fra sol og vind. Dette styrker behovet for at fremme en klima- og miljøansvarlig samt lovreguleret biogassektor, hvor ønskede klima- og miljøhensyn også kan realiseres i praksis.

Kilder

- Andreas Pacholski, 2015. Ny viden om ammoniakudledning fra frisk og forarbejdet gylle, der er udbragt med forskellige teknikker. Presented at the Plantekongres, Leuphana University Lüneburg, Germany, Herning, Danmark.
- Bernstad, A., Jansen, J. la C., 2011. A life cycle approach to the management of household food waste - A Swedish full-scale case study. *Waste Management* 31, 1879–1896. doi:10.1016/j.wasman.2011.02.026
- Biogas Task Force, 2014. Biogas i Danmark – status, barrierer og perspektiver. Energistyrelsen, København, DK.
- Birkmose, T., Hjorth-Gregersen, K., Stefanek, K., 2013. Biomasse til biogasanlæg i Danmark - på kort og langt sigt. AgroTech.
- Bruun, S., Hansen, T.L., Christensen, T.H., Magid, J., Jensen, L.S., 2006. Application of processed organic municipal solid waste on agricultural land - a scenario analysis. *Environ. Model. Assess.* 11, 251–265. doi:10.1007/s10666-005-9028-0
- Chadwick, D., Sommer, S.G., Thorman, R., Fangueiro, D., Cardenas, L., Amon, B., Misselbrook, T., 2011. Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. *Animal Feed Science and Technology* 166-67, 514–531. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.04.036
- Chrintz, T., 2014. Klimagevinster ved øget proteinproduktion i Danmark. CONCITO, København, DK.
- Chrintz, T., 2013. Klimpåvirkning fra biomasse og andre energikilder. CONCITO, Copenhagen, Denmark.
- Croxatto Vega, G.C., ten Hoeve, M., Birkved, M., Sommer, S.G., Bruun, S., 2014. Choosing co-substrates to supplement biogas production from animal slurry--a life cycle assessment of the environmental consequences. *Bioresour. Technol.* 171, 410–420. doi:10.1016/j.biortech.2014.08.099
- De Vries, J.W., Groenestein, C.M., De Boer, I.J.M., 2012a. Environmental consequences of processing manure to produce mineral fertilizer and bio-energy. *J. Environ. Manage.* 102, 173–183. doi:10.1016/j.jenvman.2012.02.032
- De Vries, J.W., Vinken, T.M.W.J., Hamelin, L., De Boer, I.J.M., 2012b. Comparing environmental consequences of anaerobic mono- and co-digestion of pig manure to produce bio-energy - A life cycle perspective. *Bioresour. Technol.* 125, 239–248. doi:10.1016/j.biortech.2012.08.124
- Energistyrelsen, 2012. Alternative drivmidler. COWI, Kongens Lyngby, Danmark.
- Fargione, J., Hill, J., Tilman, D., Polasky, S., Hawthorne, P., 2008. Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science* 319, 1235–1238.
- Flesch, T.K., Desjardins, R.L., Worth, D., 2011. Fugitive methane emissions from an agricultural biodigester. *Biomass and Bioenergy* 35, 3927–3935. doi:10.1016/j.biombioe.2011.06.009
- Fruergaard, T., Astrup, T., 2011. Optimal utilization of waste-to-energy in an LCA perspective. *Waste Management* 31, 572–582. doi:10.1016/j.wasman.2010.09.009

- Goberna, M., Podmirseg, S.M., Waldhuber, S., Knapp, B.A., García, C., Insam, H., 2011. Pathogenic bacteria and mineral N in soils following the land spreading of biogas digestates and fresh manure. *Applied Soil Ecology* 49, 18–25.
- Hamelin, L., Naroznova, I., Wenzel, H., 2014. Environmental consequences of different carbon alternatives for increased manure-based biogas. *Applied Energy* 114, 774–782. doi:10.1016/j.apenergy.2013.09.033
- Hamelin, L., Wesnæs, M., Wenzel, H., Petersen, B.M., 2011. Environmental Consequences of Future Biogas Technologies Based on Separated Slurry. *Environ. Sci. Technol.* 45, 5869–5877. doi:10.1021/es200273j
- Hansen, T.L., Bhandar, G.S., Christensen, T.H., Bruun, S., Jensen, L.S., 2006. Life cycle modelling of environmental impacts of application of processed organic municipal solid waste on agricultural land (EASEWASTE). *Waste Management & Research* 24, 153–166. doi:10.1177/0734242X06063053
- Hansen, V., Müller-Stöver, D., Ahrenfeldt, J., Holm, J.K., Henriksen, U.B., Hauggaard-Nielsen, H., 2015. Gasification biochar as a valuable by-product for carbon sequestration and soil amendment. *Biomass and Bioenergy* 72, 300–308. doi:10.1016/j.biombioe.2014.10.013
- Hulgaard, T., 2014. Affaldets energiressource og anvendelsen af nye teknologier.
- Hutchings, N.J., 2010. The FARM-N farm-scale model of losses of nitrogen.
- Hutchings, N.J., ten Hoeve, M., Jensen, R., Bruun, S., Sotoft, L.F., 2013. Modelling the potential of slurry management technologies to reduce the constraints of environmental legislation on pig production. *J. Environ. Manage.* 130, 447–456. doi:10.1016/j.jenvman.2013.08.063
- ISO, 2006a. ISO 14040. Environmental management - life cycle assessment - principles and framework. Geneva, Switzerland: International Organisation for Standardisation (ISO).
- ISO, 2006b. ISO 14044. Environmental management - life cycle assessment - requirements and guidelines. Geneva, Switzerland: International Organisation for Standardisation (ISO).
- Jacob Møller, 2012a. LCA af behandling af organisk affald - Datagrundlag og fortolkning af resultater.
- Jacob Møller, 2012b. LCA af Biovækst. DTU Miljø, Kongens Lyngby, Danmark.
- Jesper Ahrenfeldt, 2015. Forgasning og fremstilling af halmkoks. Presented at the Plantekongres, DTU Kemiteknik, Herning, Danmark.
- Johansen, A., Carter, M.S., Jensen, E.S., Hauggaard-Nielsen, H., Ambus, P., 2013. Effects of digestate from anaerobically digested cattle slurry and plant materials on soil microbial community and emission of CO₂ and N₂O. *Applied Soil Ecology* 63, 36–44.
- Kliucininkas, L., Matulevicius, J., Martuzevicius, D., 2012. The life cycle assessment of alternative fuel chains for urban buses and trolleybuses. *Journal of environmental management* 99, 98–103.
- Laura Marie Sørensen, 2014. OVERBLIK 20 fakta om dansk svineproduktion.
- Lozanovski, A., Lindner, J.P., Bos, U., 2014. Environmental evaluation and comparison of selected industrial scale biomethane production facilities across Europe. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 19, 1823–1832.

- Madsen, M., Holm-Nielsen, J.B., Esbensen, K.H., 2011. Monitoring of anaerobic digestion processes: A review perspective. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 15, 3141–3155. doi:10.1016/j.rser.2011.04.026
- Melillo, J.M., Reilly, J.M., Kicklighter, D.W., Gurgel, A.C., Cronin, T.W., Paltsev, S., Felzer, B.S., Wang, X., Sokolov, A.P., Schlosser, C.A., 2009. Indirect emissions from biofuels: how important? *Science* 326, 1397–1399.
- Moeller, K., Mueller, T., 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences* 12, 242–257. doi:10.1002/elsc.201100085
- Moeller, K., Stinner, W., 2009. Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides). *European Journal of Agronomy* 30, 1–16. doi:10.1016/j.eja.2008.06.003
- Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestedt, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J.-F., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T., Zhang, H., 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA 659–740. doi:doi:10.1017/CBO9781107415324.018
- Ottosen, L.D., Poulsen, H.V., Nielsen, D.A., Finster, K., Nielsen, L.P., Revsbech, N.P., 2009. Observations on microbial activity in acidified pig slurry. *Biosystems engineering* 102, 291–297.
- Pain, B.F., Misselbrook, T.H., Clarkson, C.R., Rees, Y.J., 1990. Odour and ammonia emissions following the spreading of anaerobically-digested pig slurry on grassland. *Biological wastes* 34, 259–267.
- Pain, B., Phillips, V., Clarkson, C., Klarenbeek, J., 1989. Loss of nitrogen through ammonia volatilization during and following the application of pig or cattle slurry to grassland. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 47, 1–12. doi:10.1002/jsfa.2740470102
- Patterson, T., Esteves, S., Dinsdale, R., Guwy, A., 2011. Life cycle assessment of biogas infrastructure options on a regional scale. *Bioresource Technology* 102, 7313–7323. doi:10.1016/j.biortech.2011.04.063
- Petersson, A., 2012. The Swedish Voluntary system for control of methane emissions. IEA Bioenergy Task 37, SP Technical Research Institute Sweden.
- Petersson, A., Wellinger, A., 2009. Biogas upgrading technologies - developments and innovations, Task 37 - Energy from biogas and landfill gas. IEA Bioenergy.
- Plevin, R.J., Michael O'Hare, Jones, A.D., Torn, M.S., Gibbs, H.K., 2010. Greenhouse Gas Emissions from Biofuels' Indirect Land Use Change Are Uncertain but May Be Much Greater than Previously Estimated. *Environ. Sci. Technol.* 44, 8015–8021. doi:10.1021/es101946t
- Rubæk, G.H., Henriksen, K., Petersen, J., Rasmussen, B., Sommer, S.G., 1996. Effects of application technique and anaerobic digestion on gaseous nitrogen loss from animal slurry applied to ryegrass (*Lolium perenne*). *Journal of Agricultural Science* 126, 481–492.

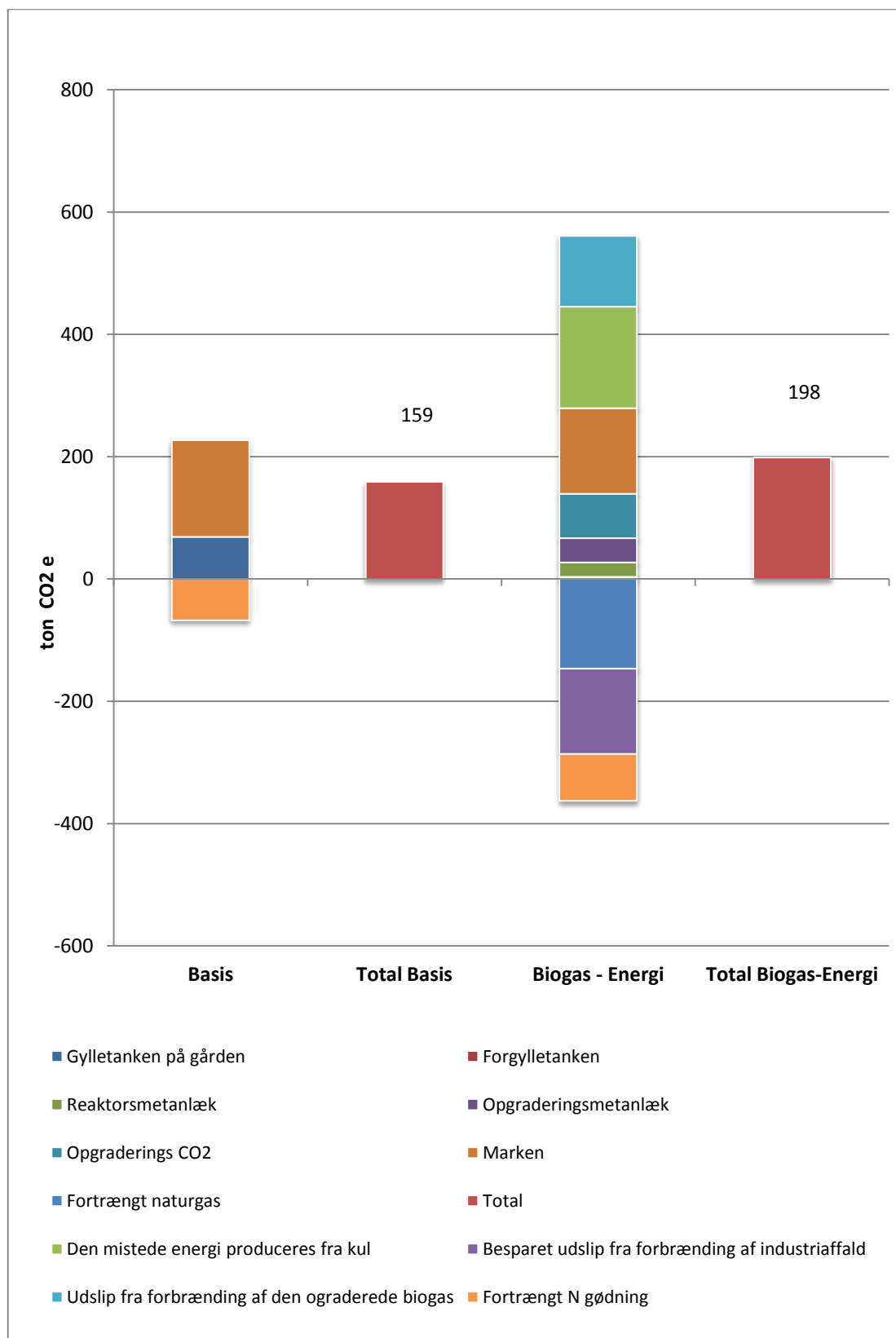
- Schjøning, P., Heckrath, G., Christensen, B.T., 2009. Threats to soil quality in Denmark (DJF report Plant Science No. 143). Aarhus University, Tjele, Danmark.
- Skøtt, T., 2015. Med forgasning kan bioenergi bliver CO₂-negativt. *Forskning i Bioenergi*, Brint & Brændselsceller 51.
- Skøtt, T., 2014. Når biogasanlægget lækker gas. *Forskning i Bioenergi*, Brint & Brændselsceller.
- Sommer, S.G., Husted, S., 1995. The chemical buffer system in raw and digested animal slurry. *The Journal of Agricultural Science* 124, 45–53.
- Sommer, S.G., Hutchings, N.J., 2001. Ammonia emission from field applied manure and its reduction—invited paper. *European Journal of Agronomy* 15, 1–15.
- Sommer, S.G., Møller, H.B., Petersen, S.O., 2001. Reduktion af drivhusgasemission fra gylle og organisk affald ved biogasbehandling (DJF Husdyrbrug No. 31). Danmarks JordbrugsForskning, Forskningscenter Foulum, Tejle, DK.
- Ten Hoeve, M., Hutchings, N.J., Peters, G.M., Svanström, M., Jensen, L.S., Bruun, S., 2014. Life cycle assessment of pig slurry treatment technologies for nutrient redistribution in Denmark. *Journal of Environmental Management* 132, 60–70. doi:10.1016/j.jenvman.2013.10.023
- Ten Hoeve, M., Peters, G.M., Hutchings, N.J., Jensen, L.S., Bruun, S., 2015. A life cycle perspective of slurry acidification strategies under different nitrogen regulations. Submitted.
- Tufvesson, L.M., Lantz, M., Borjesson, P., 2013. Environmental performance of biogas produced from industrial residues including competition with animal feed - life-cycle calculations according to different methodologies and standards. *J. Clean Prod.* 53, 214–223. doi:10.1016/j.jclepro.2013.04.005
- Wesnaes, M., Wenzel, H., Petersen, B.M., 2009. Life Cycle Assessment of Slurry Management Technologies (No. 1298). Danish Ministry of the Environment.

Bilag

Bilag 1: Drivhusgasudledninger i hver fase af livscyklussen for almindelig gyllehåndtering og biogasproduktion i ton CO₂e.

		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
		ton CO ₂ -ækvivalenter			
Gylletanken på marken					
	Basis	17	52	-	69
	Biogas - Energi	0.3	1.0	-	1.3
	Biogas - Halm	0.6	1.9	-	2.5
Forgylletanken					
	Basis	-	-	-	0.0
	Biogas - Energi	0.5	1.6	-	2.1
	Biogas - Halm	0.5	1.6	-	2.1
Reaktorsmetanlæk					
	Basis	-	-	-	0
	Biogas - Energi	-	24	-	24
	Biogas - Halm	-	14	-	14
Opgraderingsmetanlæk					
	Basis	-	-	-	0
	Biogas - Energi	-	40	-	40
	Biogas - Halm	-	24	-	24
Opgraderings CO₂					
	Basis	-	-	-	0
	Biogas - Energi	73	-	-	73
	Biogas - Halm	45	-	-	45
Marken					
	Basis	93	-	72	165
	Biogas - Energi	55	-	92	147
	Biogas - Halm	167	-	78	244
Kulstoff lagring i marken					
	Basis	-8	-	-	-8
	Biogas - Energi	-8	-	-	-8
	Biogas - Halm	-7	-	-	-7
Forbrænding af den ograderede biogas					
	Basis	-	-	-	0
	Biogas - Energi	116	-	-	116
	Biogas - Halm	70	-	-	70
Fortrængt naturgas					
	Basis	-	-	-	0
	Biogas - Energi	-147	-	-	-147
	Biogas - Halm	-89	-	-	-89
Den mistede energi produceres fra kul					
	Basis	-	-	-	0
	Biogas - Energi	166	-	-	166
Besparet udslip fra forbrænding af industriaffald					
	Basis	-	-	-	0
	Biogas - Energi	-139	-	-	-139
Halm ikke pløjes ned					
	Biogas - Halm	-166	-	-7	-173
Undgået kulstof lagring fra halm der ikke pløjes ned					
	Biogas - Halm	4	-	-	4

Bilag 2: GWP100 når den afgassede gylle erstatter N-handelsgødning i ton CO₂e. Positive værdier repræsenterer en belastning og negative værdier en reduktion.



Bilag 3: Emissionsfaktorer gennem biogas- og basissceneriernes livscyklus.

Stage	NH ₃ -N	N ₂ O-N	N ₂ -N	NO ₃ ⁻ -N	CH ₄ -C	CO ₂ -C	PO ₄ -P
	% N _{min}	%N	%N	%N	%	%	% P _{surplus}
Pre-storage	1 ^a	-	-	-	20 ^{b#}	80 ^{b#}	-
Anaerobic digestion	-	-	-	-	1.6 ^{c*}	1.6 ^{c*}	-
Upgrade	-	-	-	-	2.7 ^{c#}	-	-
Storage							
<i>basis</i>	1 ^a	-	-	-	20 ^{b#}	80 ^{b#}	-
<i>biogas scenarios</i>	2 ^a	-	-	-	20 ^{b#}	80 ^{b#}	-
Field emissions							
<i>basis scenario</i>	16 ^a	2 ^d	4.1 ^e	39.5 ^e	-	92.5 ^{e#}	5 ^e
<i>biogas scenarios</i>	16 ^a	2 ^d	3.5 ^e	36.9 ^e	-	93.5 ^{e#}	5 ^e

Note: # % of total C degraded; * % of CH₄ produced in AD; # % of CH₄ upgraded; N_{min} is mineral nitrogen

^a (Hansen et al., 2008)

^b (Sommer et al., 2007)

^c (Luostarinen et al., 2011)

^d (IPCC, 2006)

^e see ten Hoeve et al. (2014), Table 2

Tilpasset fra (Croxatto Vega et al., 2014)



CONCITO er en uafhængig tænketank, der formidler klimaviden og -løsninger til politikere, erhvervsliv og borgere.

Vores formål er at medvirke til en lavere udledning af drivhusgasser og en begrænsning af skadevirkningerne af den globale opvarmning.

www.concito.dk • info@concito.dk • +45 29 89 67 00