

NOTAT 10

Klima effekt og potentiale for substitution af fossil energi

Christian Ege og Karen Oxenbøll, Det Økologiske Råd

12. Januar 2015



Dette notat beskriver antagelser og beregninger af den klima-effekt, der knytter sig til substitution af fossil energi med bioenergi, som beregnet for scenarie 1 og 3, der begge opererer med en betragtelig produktion af energifgrøder. Endvidere beskrives antagelser og beregninger med sigte på vurdering af i hvilket omfang den producerede biomasse kan udgøre et væsentligt bidrag til substitutionen af fossile brændsler/brændstoffer.

De overordnede resultater er alle beskrevet i hovedrapporten i afsnittet om konsekvens beregninger.

Klima effekt ved substitution af fossil energi

Der er for scenarie 1, 3 og 4 beregnet klima-effekter forbundet med substitution af fossile brændsler/brændstoffer med biomasse og husdyrgødning. Beregningerne omfatter de emissioner, der knytter sig til selve forarbejdningen af biomassen og omfatter således hverken direkte eller indirekte jordbrugsmæssige konsekvenser af denne udnyttelse af biomassen. Endvidere er der ikke taget højde for transport af biomassen til raffinaderiet.

Afsnittet består af følgende afsnit.

- Generelle antagelser
- Scenarie 1 – specifikke antagelser og beregninger
- Scenarie 3 – specifikke antagelser og beregninger
- Scenarie 4 – specifikke antagelser og beregninger

Generelle antagelser:

Ved beregningen af klimaeffekter er det nødvendigt at forholde sig til hvilken type af fossil brændsel/brændstof, der substitueres. Vi har valgt at antage, at der ved kraft/varme produktion er tale om substitution af naturgas. Dette betyder, at klimaeffekten ved substitution med biomasse vurderes meget konservativt. Således opgives emission i Danmark være 658 g CO₂ækv./kwh fra kul imod 271 g CO₂ækv./kwh fra NG (IEA, 2012). Det er endvidere valgt ikke at tage hensyn til, at emissionerne fra fossile brændstoffer på sigt kan tænkes at stige. Dette følger yderligere konservatisme til beregningerne.

Det er også nødvendigt at forholde sig til hvordan bioenergien bruges. I forbindelse med produktion af biogas vil denne kunne bruges både til kraft/varme produktion og til transport. Vi har valgt at basere vore beregninger på, at biogassen udelukkende anvendes til kraft/varme. Dette valg afspejler ikke scenariernes vision om, at landbruget i 2050 kan være en væsentlig leverandør af brændstof til den tunge transport. Valget er udelukkende betinget af den usikkerhed, der knytter sig til en beregning af klima-effekten, ved at have biogas til rådighed for transport sektoren på langt sigt. Dels vil man skulle regne på klimaeffekterne af at opgradere biogassen, dels vil man skulle forholde sig til, hvad denne tilgængelighed af gas til brug for transport vil have for omlægningen af bilparken til gasdrevne biler.

Tallet for reduktion af CO₂ emission forbundet med erstatning af benzin med bioethanol baserer sig på Jørgensen et al. (2010), der angiver en reduktion på mellem 226 og 338 kg CO₂ ækv.per ton halm. Nærværende analyse opererer med middelværdien heraf 320 kg CO₂ækv. per ton halm. Denne beregning baserer sig på, at halmens lignin-indhold ikke udnyttes til kraft/varme, hvilket følger konservatisme til beregningerne.

I nedenstående tabel er vist de tal, der baseret på disse antagelser, vil blive brugt i beregningerne.

Tallene er beregnet ud fra Jørgensen et al (2010), idet der er set bort fra effekter på C-lagring. Endvidere er det antaget, at der på dette tidspunkt ikke vil være noget udslip af metan fra

produktionsanlæggene, hvilket bidrager optimistisk til resultatet. En nyere kilde Jørgensen U. og Møller H.B. (2013) angiver tal for drivhusgas fortrængningen for en lang række forskellige typer af flerårige energi afgrøder ved brug af disse til substitution af naturgas. Ved at korrigere disse for C-lagringseffekter og metan tab fås, at nedenstående estimat for klima effekten ved brug af græs til biogas er i fin overensstemmelse med estimatet for konventionel rajgræs i dette nyere notat.

Tabel 1			
Biomasse	Fossilt Brændsel/brændstof substitueret	Energi-produkt	Klimaeffekt per ton biomasse (dm) t CO ₂ ækv. reduceret
Halm	Naturgas	Kraft/varme	0,85 ton
Pil	Naturgas	Kraft/varme	1,0 ton
Gylle	Naturgas	Kraft/varme	Kvæg: 0,57 ton Svin: 0,781 ton Gennemsnit: 0,68 ton Gennemsnit vådvægt: 0,0425 ton
Græs	Naturgas	Kraft/varme	0,56 ton
Halm/græs	Benzin	Bioethanol	0,32 ton

Tabel 1. Antagelser vedr. klimaeffekter per ton biomasse (beregnet fra Fødevareministeriet, 2008)

Scenarie 1 – specifikke antagelser og beregninger

Dette scenarie har et flerdimensionelt mål, især reduktion af klimagasser og forbedring af vandmiljø. Derfor er der indgået kompromisser, hvor de to hensyn ikke trækker i samme retning. Vi har fastsat disse mål:

2030: dansk produceret biomasse skal substituere en væsentlig del af de importerede træpiller, hvorved der bliver bedre mulighed for kun at importere bæredygtigt producerede træpiller.

Herudover skal biomassen, især biogas, substituere en del af de fossile brændstoffer i den tunge transport. **2050:** Her forventes import af træpiller at være helt stoppet, idet presset på verdens biomasseressourcer er vokset, pga. både befolkningstilvækst og substitution af fossil energi i hele verden. Men samtidig har sol og vind overtaget en endnu større del af den danske energiproduktion. Her produceres væsentligst biogas, men andelen, der bruges til bioethanol er større end i 2030 grundet behovene i den tunge trafik, herunder fly og skibe. Det er ambitionen, at bioenergien vil kunne substituere en væsentlig del af forbruget af fossile brændstoffer i den tunge trafik.

Mængde af gylle er reduceret med 5 % og 10 % i henholdsvis 2030 og 2050 i forhold til det teknisk potentiale. Dette skyldes den lavere produktion af foder, der er konsekvensen af ændringerne i arealudnyttelsen.

Tabel 2				
Art af biomasse (udbytte antagelser)	2030		2050	
	Mængde mil ton	anvendelse	Mængde mil ton	anvendelse

Halm	0,375	Kraft varme: 60 % Biogas: 30 % Bioethanol: 10 %	0,750	Biogas: 80 % Bioethanol: 20 %
Gylle	2,3 5 % reduktion i forhold til teknisk pot.	biogas	2,2 10 % reduktion i forhold til teknisk pot	biogas
Pil/poppel (2030 : 12 t/ha) (2050 : 15 t/ha)	1,2 100.000 ha	Kraft/varme	3,0 200.000 ha	Kraft/varme
Græs - gødsket (2030 : 12 t/ha) (2050 : 15 t/ha)	1,2 100.000 ha	Biogas: 90 % Bioethanol: 10 %	1,5 100.000 ha	Biogas: 80 % Bioethanol: 20 %
Græs ugødsket (3,5 t/ha)	0,8 150.000 + 70.000 ha		0,8 150.000 + 70.000 ha	
Efterafgrøder (1,5 t/ha)	0,45 300.000 ha		0,90 600.000 ha	

Tabel 2. Antagelser vedr. anvendelsen af biomassen

Beregningerne fremgår af regnearkene, bilag 1 klimaeffekt

For klima-effekten ved brug af gylle til biogas er anvendt et gennemsnit for kvæg og svinegylle.

Resultatet fremgår af nedenstående tabel:

Tabel 3		
Art biomasse	CO ₂ reduktion 2030 mil ton CO ₂ -ækv	CO ₂ reduktion 2050 mil ton CO ₂ -ækv
Halm	0,27	0,38
Gylle	1,58	1,49
Pil/poppel	1,20	3,00
Græs gødsket	0,64	0,77
Græs ugødsket (slæt og efterafgrøder)	0,65	0,85
Total	4,3	6,5

Tabel 3. Resultater klimaeffekt energiproduktion scenarie 1

Vurdering af resultater:

Den beregnede reduktion af CO₂ emission skal tages med et vist forbehold. Først og fremmest skal det understreges, at beregningerne udelukkende medtager effekten af at substituere fossile brændsler. De effekter, der opstår som følge af omlægningerne i landbruget er beregnet andetsteds og skal selvfølgelig lægges sammen med de her beregnede effekter. Endvidere skal det nævnes, at selv om der flere steder er foretaget et

konservativt valg, så repræsenterer disse tal først og fremmest et potentiale, som det vil kræve et stort stykke udviklingsarbejde at nå.

De beregnede reduktionerne i drivhusgasser er betragtelige og kan sammenholdes med at den totale udledning i Danmark i 2012 var på omkring 41 millioner ton CO₂ækv. , hvoraf transportsektoren bidrog med 14,3 millioner (Energistyrelsen 2012)

For en vurdering af i hvilket omfang de opstillede målsætninger om substitution af fossile brændsler/brændstoffer bliver indfriet, henvises til næste afsnit om energi produktion.

Scenarie 3 – specifikke antagelser og beregninger:

Fortrængning af fossil energi og derved muligheden for en væsentlig reduktion af emissionen af CO₂ er det væsentligste formål for dette scenarie. Følgende pejlemærker er valgt for omfanget af fortrængning af fossile brændsler/brændstoffer:

2030: Biomassen skal substituere al import af træpiller

2050: Biomassen skal substituere 50 % af brugen af fossile brændstoffer i den tunge trafik.

Ud fra disse pejlemærker er det blevet estimeret, at der skal anvendes mindst 9 millioner ton biomasse ud over, hvad der anvendes i dag.

Beregningerne af klima effekten ved energiproduktion vil være baseret på en række antagelser og vil være behæftet med ret stor usikkerhed. Nedenstående tabel viser hvilke antagelser, der er gjort om tilgængelighed af forskellige typer af biomasse (se beskrivelse af virkemidler) samt hvordan biomassen tænkes anvendt i henholdsvis 2030 og 2050.

Tabel 3				
Art af biomasse (udbytte antagelser)	2030		2050	
	Mængde mil ton dm	anvendelse	Mængde mil ton	anvendelse
Halm	1,65	Kraft varme: 60 % Biogas: 30 % Bioethanol: 10 %	1,9	Biogas: 80 % Bioethanol: 20 %
Gylle	2,20 10 % reduktion i forhold til teknisk pot	biogas	2,32 5 % reduktion i forhold til teknisk pot	biogas
Pil/poppel (2030 : 12 t/ha) (2050 : 15 t/ha)	2,4 200.000 ha	Kraft/varme	3,0 200.000 ha	Kraft/varme
Græs - gødsket (2030 : 15 t/ha) (2050 : 20 t/ha)	4,5 300.000 ha	Biogas: 90 % Bioethanol:10 %	6,0 300.000 ha	Biogas: 80 % Bioethanol 20 %
Græs ugødsket (3,5 t/ha)	0,24 70.000 ha		0,24 70.000 ha	
Efterafgrøder (1,5 ton/ha)	0,15 100.000 ha		0,15 100.000 ha	

Tabel 4. Scenarie 3: Antagelser vedr. anvendelsen af biomassen.

Kommentarer til ovenstående tabel:

Antagelser vedr. forventede udbytter af energi-afgrøder baserer sig på Jørgensen et al (2013), der for 2020 antager et tørstofudbytte på 15 t/ha for græs og 12 t/ha for pil. Vi har valgt at bruge disse udbytte estimater for 2030, men har for 2050 antaget, at der grundet nye sorter og forbedret høstteknik vil kunne produceres henholdsvis 20 t græs og 15 ton pil per ha. Disse estimater er naturligvis forbundet med stor usikkerhed og afhængige af den udviklingsmæssige indsats, der vil blive ydet på forædling af energi-afgrøder. For halm er der antaget en stigning på 15 % fra 2030 til 2050 grundet teknologisk udvikling både hvad angår afgrøder og høst-teknologi.

Antagelserne vedrørende anvendelser er meget usikre. Det skitserede billede illustrerer en forventning om at kraft/varme indledningsvis har den dominerende rolle, som gradvis overtages af biogas. Produktionen af bioethanol forventes at ligge på et relativt lavt niveau, der dog er stigende i lyset af en voksende fokus på at etablere en sukker-platform, der kan danne grundlag for udviklingen af kemikalier og biomaterialer. Vi har ikke forholdt os til mulige klima-effekter af udviklingen af den slags produkter, da grundlaget for at estimere disse pt er meget dårligt. Der er heller ikke i beregningerne taget højde for de muligheder, der vil ligge for en termisk forgasning af ved-biomassen, hvorfor analysen også på dette punkt må siges at være konservativ.

Beregninger:

Baseret på ovenstående antagelser er det nu muligt at få et samlet overblik over de potentielle klima-effekter, der knytter sig til substitution af fossil energi med bioenergi.

Beregningerne fremgår af regnearkene, der er vedhæftet sidst i dette notat.

For klima-effekten ved brug af gylle til biogas er anvendt et gennemsnit for kvæg og svinegylle.

Resultatet fremgår af nedenstående tabel:

Art biomasse	CO ₂ reduktion 2030 mil ton CO ₂ -ækv	CO ₂ reduktion 2050 mil ton CO ₂ -ækv
Halm	1,17	0,97
Gylle	1,49	1,58
Pil/poppel	2,40	3,00
Græs gødsket	2,41	3,1
Græs ugødsket (slæt og efterafgrøder)	0,21	0,20
Total	7,7	8,8

Vurdering af effekt:

Der gælder de samme forbehold som anført under scenarie 1.

På trods af de store usikkerheder synes der dog at være tale om et potentiale af stor væsentlighed. I 2012 udgjorde transportsektorens CO₂-udledninger tilsammen 14,3 mil ton svarende til 35 % af CO₂ udledningerne fra Danmarks samlede energiforbrug (Energistyrelsen 2012). Den tunge transport udgjorde omkring 30 % af det fossile energiforbrug i transportsektoren.

For en mere detaljeret vurdering af i hvilket omfang de opstillede målsætninger om substitution af fossil energi bliver indfriet, henvises til notatet om energi produktion.

Potentialet for CO₂ reduktion i 2050 er større end i 2030, selv om der ikke er inddraget mere jord til produktion af bioenergi afgrøder. Dette skyldes først og fremmest antagelserne om stigende udbytter. Det forhold, at en større del af biomassen i 2050 bruges uden for kraft varmesektoren, som er den energi-form der mest effektivt omsætter biomassens energiindhold, bidrager til en reduktion af klima-effekten per ton biomasse. Men den øgede mængde af biomasser ophæver med de givne antagelser denne reduktion.

Det skal dog understreges, at klimaeffekten målt som CO₂ reduktion per ton biomasse ikke kan stå alene i vurderingen af, hvordan biomassen skal udnyttes. Muligheden for at kunne tilgodese behov i transportsektoren, som ikke kan tilgodeses af andre vedvarende energikilder, samt ønsket om at udnytte alle biomassens bestanddele optimalt, herunder proteinet til foderproduktion, kan retfærdiggøre en lavere CO₂ reduktion per ton biomasse, idet udnyttelsen af disse muligheder åbner op for alternative veje til reduktion af drivhusgas emissioner. En kvantitativ analyse af disse langsigtede muligheder for udnyttelsen af biomassen ligger uden for rammerne af dette projekt.

Scenarie 4 – specifikke antagelser og beregninger:

Scenarie 4 – en rig natur – har ikke som hovedmålsætning at bidrage til en reduktion af drivhusgasemissionerne. Men da reduktionen af ammoniak af hensyn til biodiversiteten er meget væsentlig i dette scenarie er det antaget, at der produceres biogas fra en del af den producerede gylle. Vi har her antaget, at der både i 2030 og 2050 anvendes gylle til biogas svarende til 60 % af det tekniske potentiale på 2,44 mil ton dm fra BAU scenariet. Herved opnås en klima effekt på 1 million ton CO₂ækv. reduceret per år.

Potentiale for substitution af fossil energi

Der er for scenarie 1 og 3 lavet kvantitative beregninger over hvor meget energi, der vil blive produceret ud fra biomasse i de to scenarier. Der er tale om forenklinger og grove estimater, idet der både er stor usikkerhed omkring hvilke typer af energi, der vil blive fremstillet, hvilke konverteringsprocesser, der vil blive anvendt og med hvilken energikonverteringseffektivitet.

Afsnittet består af:

- Generelle antagelser
- Scenarie 1 – specifikke antagelser og beregninger
- Scenarie 3 – specifikke antagelser og beregninger

Generelle antagelser:

Det er først og fremmest nødvendigt at lave antagelser for hvilke typer af energi, der produceres. Det er antaget, at der fra de grønne og gule biomasser (græs og halm) produceres både kraft/varme, biogas og bioethanol, at poppel og pil bruges til kraft/varme og at gylle enten danner grundlag for biogas eller kraft/varme produktion.

Antagelser vedr. produktion af energi fra forskellige typer af biomasse:

Biomasse	Energi produkt	MJ/ton dm biomasse	Antagelser	Reference

Halm/græs/pil	Kraft/varme	12350	19 MJ/ton biomasse 65 % energieffektivitet	IEA CO2 emission from fuel combustion 2912 edition
Halm/græs	Biogas	10000		Fødevareministeriet (2008), Landbrug og Klima, Analyse af landbrugets virkemidler til reduktion af drivhusgasser og de økonomiske konsekvenser
Halm/græs	Bioethanol	5600		Mårbjerg energi concept http://www.maabjergenergyconcept.dk/
Gylle	Biogas	7392	6,25% gylletørstof	Faktaark: Energibalance ved behandling af gylle i biogasanlæg http://www.inbiom.dk/dk/viden/
Gylle	Kraft/varme	5216		

Det skal understreges, at der er tale om grove estimater. Især vurderes energieffektiviteten ved brug af halm/græs til bioethanol at være meget konservativt sat, idet dette tal baserer sig på, hvad man i dag opgiver som effektivitet på Mårbjergværket.

Scenarie 1 – specifikke antagelser og beregninger:

Dette scenarie sigter mod at kunne substituere en væsentlig del af de importerede træpiller i 2030 med dansk produceret biomasse. For 2050 er målsætningen at bioenergien primært skal anvendes i den tunge trafik, og således her give et vægtigt bidrag til substitutionen af fossile brændstoffer i dette segment.

Antagelserne vedr. produktion af biomasse samt dennes anvendelse svarer til, hvad der er beskrevet ovenfor under beregning af klimaeffekt.

Scenarie 1: Antagelser vedr. anvendelsen af biomassen:

Art af biomasse (udbytte antagelser)	2030		2050	
	Mængde mill ton	anvendelse	Mængde mill ton	anvendelse
Halm	0,375	Kraft varme: 60 % Biogas: 30 % Bioethanol: 10 %	0,750	Biogas: 80 % Bioethanol: 20 %
Gylle	2,3 5 % reduktion i forhold til teknisk pot	biogas	2,2 10 % reduktion i forhold til teknisk pot	biogas
Pil/poppel (2030 : 12 t/ha) (2050 : 15 t/ha)	1,2 100.000 ha	Kraft/varme	3,0 200.000 ha	Kraft/varme
Græs - gødsket (2030 : 12 t/ha) (2050 : 15 t/ha)	1, 2 100.000 ha	Biogas: 90 % Bioethanol: 10 %	1,5 100.000 ha	Biogas: 80 % Bioethanol 20 %
Græs ugødsket (3,5 t/ha)	0,8		0,8	

	150.000 + 70.000 ha		150.000 + 70.000 ha	
Efterafgrøder (1,5 t/ha)	0,45		0,90	
	300.000 ha		600.000 ha	

Beregningerne fremgår af regnearkene, bilag 2.

For produktionen af energi fra gylle er anvendt et gennemsnit for kvæg og svinegylle. Resultaterne fremgår af nedenstående tabeller:

Resultater scenarie 1 energiproduktion 2030:

Art biomasse	Energi produktion PJ		
	Kraft/varme	Biogas	Bioethanol
Halm	2,8	1,1	0,21
Gylle		17,1	
Pil/poppel	14,8		
Græs gødsket		10,8	0,67
Græs ugødsket		6,93	0,43
Efterafgrøder		4,1	0,25
Total	18	40	1,6

I Energistyrelsens energifremskrivning fra 2012 om energibehovet i 2020, fremgår det, at der vil være brug for i alt 108 PJ træpiller i 2020. På denne baggrund forekommer det rimeligt at konkludere, at dette scenarie vil kunne bidrage til, at mindst 50 % af dette behov vil kunne dækkes af dansk produceret biomasse.

Resultater energiproduktion scenarie 1 2050:

Art biomasse	Energi production PJ		
	Kraft/varme	Biogas	Bioethanol
Halm		6,0	0,84
Gylle		16,23	
Pil/poppel	37,0		
Græs gødsket		12,0	1,68
Græs ugødsket		6,16	0,86
Efterafgrøder		7,2	1,0
Total	37,1	47,6	4,4

Beregninger baseret på tal fra Heathy et al (2011) antyder, at behovet for brændstoffer til den tunge trafik i 2050 vil være på 145 PJ (vejtransport). Tallet er beregnet ud fra et forbrug på 66 PJ i 2009 og en årlig vækst på 2 % i denne sektor. Denne vækstrate for den tunge trafik skønnes at ligge i den høje ende. Dette reducerer risikoen for, at vi kommer til at overvurdere,

hvor stor en andel af de fossile brændstoffer biomassen kan fortrænge i denne sektor. På denne baggrund ser det ud til, at dette scenarie i hvert fald vil kunne muliggøre en substitution på 30 %. En højere substitueringsgrad vil forudsætte, at der udvikles teknologi, der effektivt kan konvertere vedbiomasse til transportbrændstoffer eller alternativt, at græs afgrøder fortrænger afgrøder som poppel og pil.

Scenarie 3 – specifikke antagelser og beregninger:

Vores valg af split mellem de forskellige typer af energiproduktion er baseret på følgende pejlemærker:

2030: Biomassen skal substituere al import af træpiller

2050: Biomassen skal substituere 50 % af brugen af fossile brændstoffer i den tunge trafik.

Det betyder, at der overvejende produceres kraft/varme og biogas i 2030.

Vore beregninger for 2050 er baseret på produktion af kraft/varme fra pil/poppel også i 2050.

Dette er ikke i overensstemmelse med de anførte pejlemærker, men et udtryk for, at vi endnu ikke har data for konverteringen af vedbiomasse til transportbrændstoffer.

Nedenstående oversigt over vore antagelser for produktion af biomasse og dennes anvendelse svarer til, hvad der er beskrevet i foregående afsnit vedr. klimaeffekt af energi produktion.

Scenarie 3: antagelser vedr. produktion af energi

Art af biomasse (udbytte antagelser)	2030		2050	
	Mængde mil ton dm	anvendelse	Mængde mil ton	anvendelse
Halm	1,65	Kraft/varme: 60 % Biogas: 30 % Bioethanol: 10 %	1,9	Biogas: 80 % Bioethanol: 20 %
Gylle	2,20 10 % reduktion i forhold til teknisk pot.	biogas	2,32 5 % reduktion i forhold til teknisk pot.	biogas
Pil/poppel (2030 : 12 t/ha) (2050 : 15 t/ha)	2,4 200.000 ha	Kraft/varme	3,0 200.000 ha	Kraft/varme
Græs - gødsket (2030 : 15 t/ha) (2050 : 20 t/ha)	4,5 300.000 ha	Biogas: 90 % Bioethanol:10 %	6,0 300.000 ha	Biogas: 80 % Bioethanol 20 %
Græs ugødsket (3,5 t/ha)	0,24 70.000 ha		0,24 70.000 ha	
Efterafgrøder (1,5 ton/ha)	0,15 100.000 ha		0,15 100.000 ha	

Beregningerne fremgår af regnearkene i bilag 2.

For produktionen af energi fra gylle er anvendt et gennemsnit for kvæg og svinogylle.

Resultatet fremgår af nedenstående tabel:

Resultat energi produktion scenarie 3 2030:

Art biomasse	Energi produktion PJ		
	Kraft/varme	Biogas	Bioethanol
Halm	12,2	5,0	0,9
Gylle	0	16,2	0
Pil/poppel	30,0	0	0
Græs gødsket	0	40,5	2,5
Græs ugødsket		2,20	0,14
Efterafgrøder		1,35	0,01
Total	42,0	65,2	3,7

Energistyrelsen angiver i sin energifremskrivning for 2012, at der i 2020 vil være et behov for import af træpiller på 108 PJ. Det ovenfor beregnede estimat for energiproduktion i 2030 synes at være tilstrækkeligt til at dække dette behov, hvilket netop var målsætningen for 2030.

Resultater energiproduktion scenarie 3 2050:

Art biomasse	Energi produktion PJ		
	Kraft/varme	Biogas	Bioethanol
Halm		13,2	1,8
Gylle		17	
Pil/poppel	37,1		
Græs gødsket		48,0	6,7
Græs ugødsket		1,96	0,27
Efterafgrøder		1,2	0,17
Total	37	82,5	9,0

2050 scenariet havde til målsætning at sandsynliggøre, at 50 % af de fossile brændstoffer til den tunge trafik kan substitueres. Beregninger foretaget ud fra Heathy et al (2011) antyder, at behovet for brændsler til den tunge trafik i 2050 vil være på 145 PJ (vejtransport). Tallet er beregnet ud fra et forbrug på 66 PJ i 2009 og en årlig vækst på 2 % i denne sektor. En substitution på 50 % synes således mulig i dette scenarie. Faktisk ser det ud til at hele behovet for brændstoffer til den tunge trafik vil kunne dækkes på sigt. Det forudsætter dog, at der udvikles teknologi, der effektivt kan konvertere vedbiomasse til transportbrændstoffer eller alternativt, at græs afgrøder fortrænger afgrøder som poppel og pil..

Referencer:

Energi Styrelsen (2012), Dansk Energifremskrivning 2012

Energistyrelsen (2012), Transportens energiforbrug og CO₂ emissioner

<http://www.ens.dk/klima-co2/transport/transportens-energiforbrug-co2-emissioner>

Faktaark: Energibalance ved behandling af gylle i biogasanlæg,

<http://www.inbiom.dk/dk/viden/>

Fødevareministeriet (2008), Landbrug og Klima – analyse af landbrugets virkemidler til reduktion af drivhusgasser og de økonomiske konsekvenser

Hethey J. et al. (2011), Ea Energianalyse, scenarier for transportsektorens energiforbrug i Danmark med fokus på vejtransporten.

IEA (2012), CO₂ emission from fuel combustion

Jørgensen U. et al. (2010), Notat om halmanvendelse (bestilling fra fødevareministeriet)

Jørgensen U. et al. (2013), Biomasseudnyttelse i Danmark – potentielle ressourcer og bæredygtighed, DCA rapport nr. 033

Jørgensen U. og Møller H.B. (2013), Oplæg til klima- og miljømæssige effekter af energiafgrøder til biogas.

Mårbjerg energi concept, <http://www.maabjergenergyconcept.dk/>

BILAG 1: Klima effekt beregninger

SCENARIO 1: Grøn vækst

Biomasse type	areal (ha)	udbytte (t/ha)	mængde (t dm)	anvendelse af biomassen			Klimaeffekt t CO2 ækv	Klimaeffekt mil to CO2 ækv
				CHP direkte	CHP biogas	transport benzin		
græs gødsket - nyt græsare	100000	12	1200000	0	0,9	0,1	643200	0,6432
poppel/pil	100000	12	1200000	1	0	0	1200000	1,2
Slæt (NYT + EKS)	220000	3,5	770000	0	0,9	0,1	412720	0,41272
efterafgrøder	300000	1,5	450000	0	0,9	0,1	241200	0,2412
halm			375000	0,6	0,3	0,1	266250	0,26625
gylle uændret dyrehold			2440000					
gylle (dm)			2318000	0	1	0	1576240	1,57624
red. gylle grundet red fodø	0,05							
TOTAL			8753000				4339610	4,33961
Klima effekt per ton dm (ton CO2 ækv)								
halm -> CHP							0,85	
græs/halm -> biogas (CHP)							0,56	
poppel/pil -> CHP							1	
kvæg gylle -> biogas (CHP)							0,57	
svine gylle -> biogas (CHP)							0,78	
gylle -> biogas (CHP)							0,68	
græs/halm _ bioethanol (t							0,32	
vådvægt gylle -> biogas (C	0,0425							

Biomasse type	areal (ha)	udbytte (t/ha)	mængde (t dm)	anvendelse af biomassen			Klimaeffekt t CO2 ækv	Klimaeffekt mil to CO2 ækv
				CHP direkte	CHP biogas	transport benzin		
græs gødsket - nyt græsare	100000	15	1500000	0	0,8	0,2	768000	0,768
poppel/pil	200000	15	3000000	1	0	0	3000000	3
Slæt (NYT + EKS)	220000	3,5	770000	0	0,8	0,2	394240	0,39424
efterafgrøder	600000	1,5	900000	0	0,8	0,2	460800	0,4608
halm			750000	0	0,8	0,2	384000	0,384
gylle uændret dyrehold			2440000					
gylle (dm)			2196000	0	1	0	1493280	1,49328
red. gylle grundet red fodø	0,1							
TOTAL			11556000				6500320	6,50032
Klima effekt per ton dm (ton CO2 ækv)								
halm -> CHP							0,85	
græs/halm -> biogas (CHP)							0,56	
poppel/pil -> CHP							1	
kvæg gylle -> biogas (CHP)							0,57	
svine gylle -> biogas (CHP)							0,78	
gylle -> biogas (CHP)							0,68	
græs/halm _ bioethanol (t							0,32	
vådvægt gylle -> biogas (C	0,0425							

SCENARIO 3: Det biobaserede samfund

Scenario 3, 2030				anvendelse af biomassen			Klimaeffekt t CO2 ækv	Klimaeffekt mil to CO2 ækv
Biomasse type	areal (ha)	udbytte (t/ha)	mængde (t dm)	CHP direkte	CHP biogas	transport benzin		
græs gødsket - nyt græsare	300000	15	4500000	0	0,9	0,1	2412000	2,412
poppel/pil	200000	12	2400000	1	0	0	2400000	2,4
Slæt	70000	3,5	245000	0	0,9	0,1	131320	0,13132
efterafgrøder	100000	1,5	150000	0	0,9	0,1	80400	0,0804
halm			1650000	0,6	0,3	0,1	1171500	1,1715
gylle uændret dyrehold			2440000					
gylle (dm)			2196000	0	1	0	1493280	1,49328
red. gylle grundet red fodet	0,1							
TOTAL			13581000				7688500	7,6885
Klima effekt per ton dm (ton CO2 ækv)								
halm -> CHP	0,85							
græs/halm -> biogas (CHP)	0,56							
poppel/pil -> CHP	1							
kvæg gylle -> biogad (CHP)	0,57							
svine gylle -> biogad (CHP)	0,78							
gylle -> biogas (CHP)	0,68							
græs/halm _ bioethanol (t)	0,32							
vådvægt gylle -> biogas (C)	0,0425							

Scenario 3, 2050				anvendelse af biomassen			Klimaeffekt t CO2 ækv	Klimaeffekt mil to CO2 ækv
Biomasse type	areal (ha)	udbytte (t/ha)	mængde (t dm)	CHP direkte	CHP biogas	transport benzin		
græs gødsket - nyt græsare	300000	20	6000000	0	0,8	0,2	3072000	3,072
poppel/pil	200000	15	3000000	1	0	0	3000000	3
Slæt	70000	3,5	245000	0	0,8	0,2	125440	0,12544
efterafgrøder	100000	1,5	150000	0	0,8	0,2	76800	0,0768
halm			1900000		0,8	0,2	972800	0,9728
gylle uændret dyrehold			2440000					
gylle (dm)			2318000	0	1	0	1576240	1,57624
red. gylle grundet red fodet	0,05							
TOTAL			16053000				8823280	8,82328
Klima effekt per ton dm (ton CO2 ækv)								
halm -> CHP	0,85							
græs/halm -> biogas (CHP)	0,56							
poppel/pil -> CHP	1							
kvæg gylle -> biogad (CHP)	0,57							
svine gylle -> biogad (CHP)	0,78							
gylle -> biogas (CHP)	0,68							
græs/halm _ bioethanol (t)	0,32							
vådvægt gylle -> biogas (C)	0,0425							

BILAG 2: Beregninger vedr. potentiale for substitution af fossile brændsler

Scenarie 1: Grøn vækst

scenarie 1, 2030				anvendelse af biomassen			Energi produktion PJ		
Biomasse type	areal (ha)	udbytte (t/ha)	mængde (t dm)	CHP direkte	CHP biogas	transport benzin	CHP	biogas	bioethanol
græs gødsket -nyt græsare	100000	12	1200000	0	0,9	0,1	0	10,8	0,672
poppel/pil	100000	12	1200000	1	0	0	14,82		
Slæt (nyt + EKS)	220000	3,5	770000	0	0,9	0,1	0	6,93	0,4312
efterafgrøder	300000	1,5	450000	0	0,9	0,1	0	4,05	0,252
halm			375000	0,6	0,3	0,1	2,77875	1,125	0,21
gylle uændret dyrehold			2440000	0	0	0	0	0	
reduktion dyrehold	0,05				1		0	0	
gylle			2318000					17,135	
TOTAL								17,6	40,0
Energi produktion		MI/ton dm	MI/ton vådvægt						
halm/græs/pil til CHP		12350		Reference: IEA CO2 emission from fuel combustion 2012 edition : 65% energieffektivitet i Danmark , antaget 19 MJ/ton dm					
halm/græs til biogas		10000		Reference: Fødevareministeriet (2008), Landbrug og klima Analyse af landbrugets virkemidler til reduktion af drivhusgasser og de økonomiske k					
halm/græs til bioethanol		5600		Reference: Mårbjerg energi concept http://www.maabjergenergyconcept.dk/					
gylle til biogas		7392	462	Reference: Faktaark: Energifbalance ved behandling af gylle i biogasanlæg http://www.inbiom.dk/dk/viden/					
gylle til biogas til kraftvarme		5216	326						

scenarie 1, 2050				anvendelse af biomassen			Energi produktion PJ		
Biomasse type	areal (ha)	udbytte (t/ha)	mængde (t dm)	CHP direkte	CHP biogas	transport benzin	CHP	biogas	bioethanol
græs gødsket -nyt græsare	100000	15	1500000	0	0,8	0,2	0	12	1,68
poppel/pil	200000	15	3000000	1	0	0	37,05		
Slæt (nyt + EKS)	220000	3,5	770000	0	0,8	0,2	0	6,16	0,8624
efterafgrøder	600000	1,5	900000	0	0,8	0,2	0	7,2	1,008
halm			750000	0	0,8	0,2	0	6	0,84
gylle uændret dyrehold			2440000	0	0	0	0	0	
reduktion dyrehold	0,1				1		0	0	
gylle			2196000					16,233	
TOTAL								37,1	47,6
Energi produktion		MI/ton dm	MI/ton vådvægt						
halm/græs/pil til CHP		12350		Reference: IEA CO2 emission from fuel combustion 2012 edition : 65% energieffektivitet i Danmark , antaget 19 MJ/ton dm					
halm/græs til biogas		10000		Reference: Fødevareministeriet (2008), Landbrug og klima Analyse af landbrugets virkemidler til reduktion af drivhusgasser og de økonomiske konsekvensgasser					
halm/græs til bioethanol		5600		Reference: Mårbjerg energi concept http://www.maabjergenergyconcept.dk/					
gylle til biogas		7392	462	Reference: Faktaark: Energifbalance ved behandling af gylle i biogasanlæg http://www.inbiom.dk/dk/viden/					
gylle til biogas til kraftvarme		5216	326						

Scenarie 3, Det Biobaserede Samfund

scenarie 3, 2030				anvendelse af biomassen			Energi produktion PJ		
Biomasse type	areal (ha)	udbytte (t/ha)	mængde (t dm)	CHP direkte	CHP biogas	transport benzin	CHP	biogas	bioethanol
græs gødsket -nyt græsare	300000	15	4500000	0	0,9	0,1	0	40,5	2,52
poppel/pil	200000	12	2400000	1	0	0	29,64		
Slæt	70000	3,5	245000	0	0,9	0,1	0	2,205	0,1372
efterafgrøder	100000	1,5	150000	0	0,9	0,1	0	1,35	0,084
halm			1650000	0,6	0,3	0,1	12,2265	4,95	0,924
gylle uænderet dyrehold			2440000	0	0	0	0	0	
reduktion dyrehold	0,1				1		0	0	
gylle			2196000					16,233	
TOTAL							41,9	65,2	3,7
Energi produktion		MJ/ton dm	MJ/ton vådvægt						
halm/græs/pil til CHP		12350		Reference: IEA CO2 emission from fuel combustion 2012 edition : 65% energieffektivitet i Danmark , antaget 19 MJ/ton dm					
halm/græs til biogas		10000		Reference: Fødevareministeriet (2008), Landbrug og klima Analyse af landbrugets virkemidler til reduktion af drivhusgasser og de øko					
halm/græs til bioethanol		5600		Reference: Mårbjerg energi concept http://www.maabjergenergyconcept.dk/					
gylle til biogas		7392	462	Reference: Faktaark: Energibalance ved behandling af gylle i biogasanlæg http://www.inbiom.dk/dk/viden/					
gylle til biogas til kraftvarme		5216	326						

scenarie 3, 2050				anvendelse af biomassen			Energi produktion PJ		
Biomasse type	areal (ha)	udbytte (t/ha)	mængde (t dm)	CHP direkte	CHP biogas	transport benzin	CHP	biogas	bioethanol
græs gødsket -nyt græsare	300000	20	6000000	0	0,8	0,2	0	48	6,72
poppel/pil	200000	15	3000000	1	0	0	37,05		
Slæt	70000	3,5	245000	0	0,8	0,2	0	1,96	0,2744
efterafgrøder	100000	1,5	150000	0	0,8	0,2	0	1,2	0,168
halm			1650000	0	0,8	0,2	0	13,2	1,848
gylle uænderet dyrehold			2440000	0	0	0	0	0	
reduktion dyrehold	0,05				1		0	0	
gylle			2318000					17,135	
TOTAL							37,1	81,5	9,0
Energi produktion		MJ/ton dm	MJ/ton vådvægt						
halm/græs/pil til CHP		12350		Reference: IEA CO2 emission from fuel combustion 2012 edition : 65% energieffektivitet i Danmark , antaget 19 MJ/ton dm					
halm/græs til biogas		10000		Reference: Fødevareministeriet (2008), Landbrug og klima Analyse af landbrugets virkemidler til reduktion af drivhusgasser og de øko					
halm/græs til bioethanol		5600		Reference: Mårbjerg energi concept http://www.maabjergenergyconcept.dk/					
gylle til biogas		7392	462	Reference: Faktaark: Energibalance ved behandling af gylle i biogasanlæg http://www.inbiom.dk/dk/viden/					
gylle til biogas til kraftvarme		5216	326						