

Notat



NIRAS A/S
Sortemosevej 2
DK-3450 Allerød

Telefon 4810 4200
Fax 4810 4300
E-mail niras@niras.dk

CVR-nr. 37295728
Tilsluttet F.R.I

NIRAS

PRODUKTION AF BIOETHANOL I DANMARK - Energiudbytter og CO₂ fortrængning med forskellige teknologier

2. februar 2007
Opdateret den 14. marts 2007

1. Introduktion

I de seneste år blev der gennemført mange beregninger, opstillinger og vurderinger af fremstilling af energi på biomasse.

De fleste af disse vurderinger har forskellige udgangspunkter og forudsætninger, og der er opstået et meget broget billede af energieffekten og miljøgevinsten ved produktion af bioethanol på basis af forskellige materialer ved forskellige metoder (1. og 2. generations bioethanolanlæg).

Derfor har NIRAS¹ udarbejde dette notat, i et forsøg på at skabe en ensartet sammenligning af energiudbyttet og den relative CO₂-fortrængning, som kan opnås ved forarbejdning af 1 ha foderkorn, ved følgende 5 teknologiscenarier:

- Scenario 1: Foderkorn anvendes til foder, og halm til kraft + varme produktion.
- Scenario 2: Foderkorn og halm anvendes til kraft + varme produktion: Scenariet er referencescenario for energiproduktion og CO₂-fortrængning.
- Scenario 3: Foderkorn anvendes til fremstilling af 1. generations-bioethanolproduktion, biproduktet anvendes som proteinfoder og halmen til kraft + varme produktion.
- Scenario 4: Foderkorn og halm anvendes til 2. generations-bioethanolproduktion, og biprodukterne anvendes som proteinfo-

¹ Notatet er udarbejdet af NIRAS v. Anne Seth Madsen, Dora Ruth Trummer og Niels Bahnsen som projektleder.

der og til kraft + varme produktion (IBUS-koncept). Dette scenario er en kombination af et 1. generations- og et 2. generations anlæg for at kunne vurdere anvendelsen af hele afgrøden til energi. I tilknytning til scenario 4 er der udarbejdet et alternativt scenario 4A med et rent 2. generationsanlæg, hvor halmen alene anvendes til ethanol fremstilling. Kornet anvendes direkte som foder.

- Scenario 5: Foderkorn og halm anvendes til 2. generations-bioethanolproduktion, og biprodukterne anvendes som proteinfoder og til kraft + varme (Maxifuel-koncept). Dette scenario baseres også på en kombination af et 1. generations- og et 2. generations anlæg. Dette gør det muligt at vurdere effekten af at hele afgrøden anvendes til energiformål. For scenario 5 er der ligeledes udarbejdet et alternativt scenario 5A med et ren 2. generation Maxifuel- anlæg, hvor halmen alene anvendes til ethanol fremstilling. Kornet anvendes direkte som foder.

Bioethanol går på tværs af energi (både brændstof- og kraftvarmesektoren) og korn- og foderproduktionen. I det følgende vil konteksten for en ethanolproduktion kort blive opridset. Herefter præsenteres de data, der er anvendt i de fem teknologiscenarier.

2. Kontekst for en bioethanolproduktion

2.1 Landbrugsarealets anvendelse og kornproduktionen i 2005

Høst 2005	ha	%	tons
Danmarks areal	4.309.800	-	
Dyrket areal	2.589.000	60,1%	
Korn (hvede, byg, rug, tritecale, havre)	1.454.000	56,2%	9.283.000
Grovfoder (helsæd, græs)	622.000	24,0%	
EU-brak	164.000	6,3%	
Raps	110.000	4,2%	
Frø til udsæd	94.000	3,6%	
Sukkerroer	46.000	1,8%	
Kartofler	40.000	1,5%	
Garteneriprodukter	20.000	0,8%	
Andre arealer	20.000	0,8%	
Bælgsæd til modenhed	15.000	0,6%	
Bjærget halm			3.253.000

Tabel 1. Arealanvendelse i 2005. 60% af Danmarks areal indgår i planteavlproduktionen. 56% af landbrugsarealet anvendes til produktion af korn². (Kilde henvisning på foregående side.)

Der blev i 2005 produceret korn på 1,45 millioner ha landbrugsjord, hvilket resulterede i et udbytte på 9,3 millioner tons korn. Den domi-

² Kilde: "Tal om Landbruget 2006", Dansk Landbrug og Landbrugsraadet

nerende kornsort er foderhvede. Fra kornproduktionen blev der bjærget ca. 3,3 millioner tons halm.

2.2 *Foderbehov til den animalske produktion*

Det anslås³, at det danske fodermarked i 2006 androg ca. 12 millioner tons. Heraf aftog svineproduktionen ca. 6,5 millioner tons til produktion af ca. 20 millioner slagtesvin. Slagtesvin fodres udover korn også med proteinfoder og vitaminer/mineraler, med følgende fordeling:

		tons
Foderbehov slagtesvin		6.500.000
Korn	75%	4.875.000
Proteinfoder	20%	1.300.000
Vitaminer og mineraler	5%	325.000

Tabel 2. Foderbehov til en slagtesvineproduktion på ca. 20 millioner slagtesvin.⁴

96-98% af det danske proteinfoder importeres⁵ i dag overvejende fra Brasilien og Argentina. En national produktion af proteinfoder til både svin og kvæg vil således kunne substituere importeret proteinfoder.

2.3 *Brændstofforbrug og ethanolbehov ved substitution af benzin*

I Danmark består brændstofforbruget til vejtransport af ca. 50% benzin og 50% dieselolie.

Ethanol kan erstatte benzin og ved iblanding op til 10% anvendes i den eksisterende bilpark. På grund af forskel i brændværdien, kræver substitution af 1 m³ benzin ca. 1,5 m³ ethanol.

Ved tilsætning af op til 10% ethanol i benzin vil ethanol have en oktanforbedrende egenskab, der delvis kompenserer for den lavere brændværdi. I nedenstående tabel angives ethanolbehovet i Danmark ved substitution af benzin, idet der kun er taget højde for brændværdien i benzin og ethanol og ikke for ethanolens oktanforbedrende egenskaber.

³ Oplysninger fra Århusegnens Andel

⁴ Oplysninger fra Århusegnens Andel

⁵ Bentsen, N.S., Felby, C., Ipsen, K.H., Energy balance of 2nd generation bio-ethanol production in Denmark, Royal Veterinary and Agricultural University

Forbrug 2005	Benzin m3	Ethanol m3
Benzin vejtransport	2.499.574	
2% substitution	49.991	77.830
5,75% substitution	143.725	223.762
10% substitution	249.957	389.152

Tabel 3. Ethanolbehov ved substitution af benzin baseret på forbruget af benzin i 2005 til vejtransport, hvor der kun tages højde for forskel i brændværdien ved beregning af ethanolbehovet. Kilde, benzinforgbrug: Energistyrelsen⁶

3. De 5 teknologiscenarier ”Udbytte fra 1 ha foderkorn”

Til beregning af de følgende scenarier anvendes der gennemsnitstal. Der tages i beregningerne ikke højde for forbrug af energi og udslip fra selve produktion af afgrøden, da det i alle scenarier er den samme afgrøde, der dyrkes på marken.

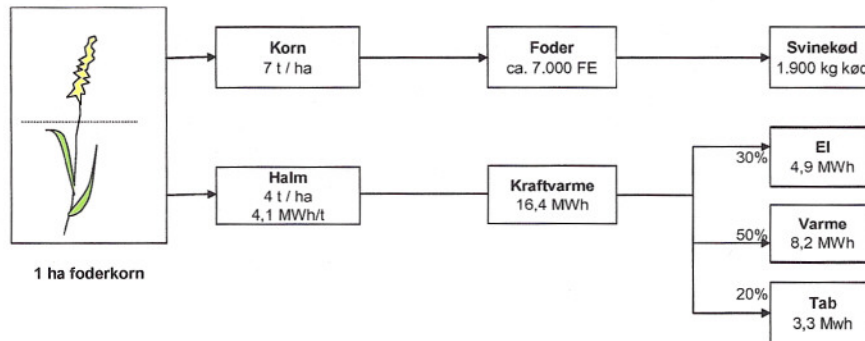
Der fokuseres på effekterne af forskellig anvendelse af afgrøden. Beregningerne tager udgangspunkt i, at der produceres foderkorn (hvede, rug, triticale mfl.) men i denne konkrete beregning er der taget udgangspunkt i foderhvede hvor der i gennemsnit opnås et udbytte på 7 t kerner (korn) og 4 t halm/ha landbrugsjord. Det antages at der fremstilles kraft + varme af halmen eller biprodukter fra biethanolprocessen, og at behovet for processenergi primært dækkes af denne energifremstilling. I energiberegningerne antages, at energioverskudet sælges som el og varme. I CO₂-beregningerne er der anvendt gennemsnitstal for den danske CO₂-udledning (2005) fra 1 MWh el og 1 MWh varme. Denne antagelse giver i CO₂-beregningerne et meget lille estimat for den fortrængte CO₂ fra varmeproduktionen, da gennemsnittallet inddrager al fjernvarme produceret i Danmark uanset brændsel.

Distillers Dry Grain with Solubles (DDGS), som er det proteinrige tørrede restprodukt fra ethanol fremstillingen, kan anvendes til både svine- og kvægfoder. I forbindelse med udarbejdelsen af forretningsplan for et bioethanolanlæg i Danmark blev der hentet prøver af DDGS fra bioethanolanlægget ”Agroethanol” i Sverige. Der er bleven foretaget en analyse af prøven og på denne baggrund er det beregnet, hvilken foderværdi DDGS vil have for slagtesvin. Resultatet af analysen var, at der er 0,95 foderenheder (FE) pr. kg DDGS.

⁶ Kilde: ”Energistatistik 2005”, Energistyrelsen

3.1 *Scenario 1: Foderkorn anvendes til foder, og halm til kraft+ varme*
 Scenariet afspejler dagens situation, hvor foderkornet anvendes som dyrefoder og halmen afbrændes i kraftvarme-anlæg.

I Scenario 1 beregnes udbyttet ved ”dagens” anvendelse af korn til svinefoder og halm til kraftvarme.



Figur 1. Scenario 1: Udbytte af 1 ha foderkorn, hvor kornet anvendes som stivelsesfoder til slagtesvin og halm udnyttes til kraft + varme.

Der kan produceres ca. 1,9 tons kød og 5 MWh el og 8,3 MWh varme fra 1 ha foderkorn.

Dagens situation	enhed	Energibalance (MWh/ha)			CO ₂ -fortrængning (ton CO ₂ /ha)		
		Mængde	MWh / enhed	Bidrag	Mængde	pr. enhed	Bidrag
Nettoproduktion							
Kød	ton	1,9	3,1	5,9			
El	MWh	4,9	1,0	4,9	4,9	0,52	2,5
Varme	MWh	8,2	1,0	8,2	8,2	0,01	0,1
Samlet				19,0			2,6

Tabel 4. Scenario 1: Energibalance og CO₂-fortrængning af produkter produceret fra 1 ha foderkorn, hvor kornet anvendes som stivelsesfoder til slagtesvin og halm til kraft + varme. Små afvigelser på grund af rundinger.

Af tabellen ovenfor ses, at det samlede energiudbytte fra produktionen i dag er 19 MWh/ha og at CO₂ udledningen reduceres med 2,6 ton/ha ved brug af halm til el og varmeproduktionen.

Emissionen for den eksisterende el- og varmeproduktion er baseret på gennemsnitstal for Danmark i 2005⁷. Der medtages ikke CO₂-udledning fra kødproduktionen.

Udbyttet af foder i scenariet er baseret på, at kornet antages at have et tørstofindhold på 85% og at 0,83 kg svarer til 1 Foderenhed (FE). Tilvæksten vurderes at udgøre 1 kg kød/3,7 FE⁸.

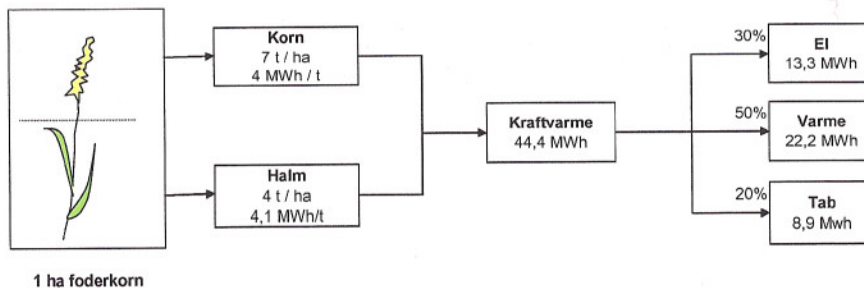
⁷ Energistatistik 2006, Energistyrelsen

⁸ Håndbog for driftsplanlægning, 2006.

Energiomregningen fra kød til MWh baserer sig på et energiindhold på 1113 kJ/100 g svinekød⁹.

3.2 Scenario 2: Foderkorn og halm anvendes til kraft+ varme.

I Scenario 2 afbrændes hele planten – både korn og halm - i et kraftvarmeværk. Dette scenario er udarbejdet for at kunne sammenholde energi-outputtet fra de øvrige scenarier med den energimæssigt, teoretisk optimale situation, hvor der opnås det mindste tab.



Figur 2. Scenario 2: Udbytte fra 1 ha foderkorn, hvor hele planten (både korn og halm) anvendes til fremstilling af kraft + varme.

1 ha foderkorn producerer 44,4 MWh energi, der i et kraftvarmeværk kan omsættes til 13,3 MWh el og 22,2 MWh varme.

Helplante til Energi	enhed	Energibalance (MWh/ha)			CO ₂ -fortrængning (ton CO ₂ /ha)		
		Mængde	MWh / enhed	Bidrag	Mængde	pr. enhed	Bidrag
Nettoproduktion							
El	MWh	13,3	1,0	13,3	13,3	0,52	6,9
Varme	MWh	22,2	1,0	22,2	22,2	0,01	0,2
Samlet				35,5			7,1

Tabel 5. Scenario 2: Energibalance og CO₂-fortrængning af el- og varme-produktion, hvis alt korn og halm fra 1 ha foderkorn afbrændes.

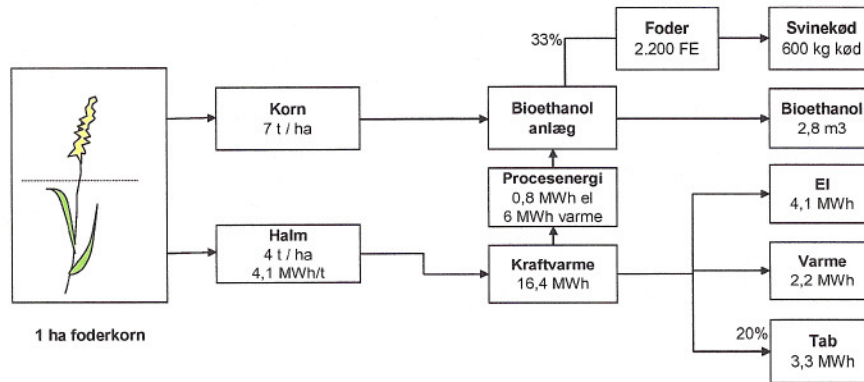
Som det ses af tabellen ovenfor, opnås der et energiudbytte på i alt 35,5 MWh, hvilket er et højere energiudbytte i forhold til scenario 1. CO₂-fortrængningen på 7,1 ton CO₂/ha er ligeledes højere end i scenario 1.

3.3 Scenario 3: Foderkorn anvendes til fremstilling af 1. generations-bioethanolproduktion, biproduktet anvendes som proteinfoder og halm til kraft+ varme.

I scenario 3 anvendes kornet først som råvare i en 1. generations-bioethanolproduktion. Biproduktet herfra er proteinfoder, der kan er-

⁹ Fødevaredatabanken, som reference antages flæskesteg med svær.
http://www.foodcomp.dk/fvdb_default.asp

statte importeret proteinfoder. Halmen antages uændret at blive anvendt til kraft + varme produktion.



Figur 3. Scenario 3: Udbytte af 1 ha foderkorn, hvor kornet anvendes til ethanolproduktion, og hvor biproduktet anvendes som proteinfoder til slagtesvin. Halmen anvendes til kraft + varme.

I dette scenario produceres der netto mindre svinekød, mens der til gengæld opnås en national produktion af proteinfoder, som næsten ikke er til stede i dag. Bioethanolproduktionen er på ca. 2,8 m³ bioethanol, der konservativt beregnet kan erstatte ca. 1,9 m³ benzin. El- og varmeproduktionen fra halm er uændret, dog anvendes en del til processen, hvorfor nettoudbyttet bliver lavere.

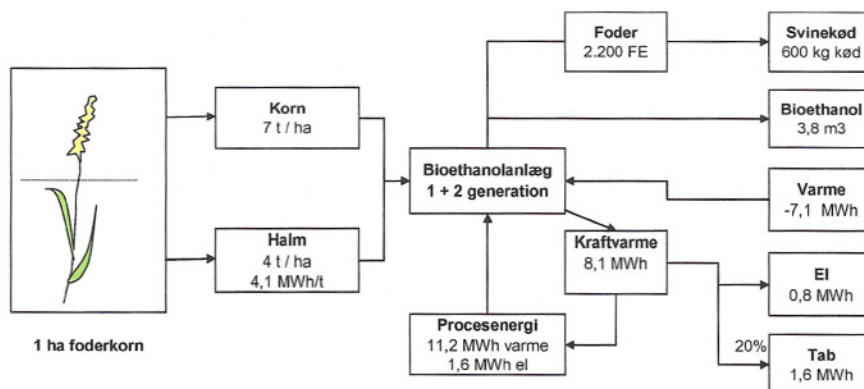
1. Generation	enhed	Energibalace (MWh/ha)			CO ₂ -fortrængning (ton CO ₂ /ha)		
		Mængde	MWh / enhed	Bidrag	Mængde	pr. enhed	Bidrag
Nettoproduktion							
Kød	ton	0,6	3,1	1,9			
Bioethanol	m ³	2,8	5,8	16,1	2,8	1,54	4,3
El	MWh	4,1	1,0	4,1	4,1	0,52	2,1
Varme	MWh	2,2	1,0	2,2	2,2	0,01	0,0
Samlet				24,3			6,4

Tabel 6. Scenario 3: Energibalace, CO₂-fortrængning af produkter produceret fra 1 ha foderkorn med 1. generations-ethanolproduktion.

Af tabellen ovenfor ses, at der ved 1. generations-ethanolproduktion netto opnås et energi-udbytte på 24,3 MWh/ha. CO₂-fortrængningen er beregnet til 6,4 ton CO₂/ha. Den større CO₂-fortrængning i forhold til scenario 1 skyldes at ethanolen fortrænger benzin.

3.4 *Scenario 4: Foderkorn og halm anvendes til 2. generations-bioethanolproduktion, biprodukter anvendes som proteinfoder og til kraft+ varme (IBUS-koncept).*

I scenario 4 anvendes korn og halm til 2. generations- bioethanolproduktion med udgangspunkt i IBUS- konceptet¹⁰. Biproduktet er proteinfoder og tørstof til kraftvarme-produktion.



Figur 4. Scenario 4: Udbytte af 1 ha foderkorn, hvor kornet og halmen anvendes til ethanolproduktion, og hvor biprodukterne anvendes som proteinfoder til slagtesvin og kraft + varme.

I dette scenario produceres der omkring 1 m³ mere ethanol pr. ha end i 1. generations-anlægget. Mængden af proteinfoder og dermed kødproduktionen er det samme som i 1. generations-anlægget. Der vil være et biprodukt til forbrænding i kraftvarmeværket, hvor der produceres 2,4 MWh el og 4,1 MWh varme. Bioethanolprocessen kræver dog 1,6 MWh el og 11,2 MWh varme. Derfor skal der tilføres 7, 1 MWh varme.

2. Generation - IBUS	enhed	Energibalance (MWh/ha)			CO ₂ -fortrængning (ton CO ₂ /ha)		
		Mængde	faktor	Bidrag	Mængde	pr. enhed	Bidrag
Nettoproduktion							
Kød	ton	0,6	3,1	1,9			
Bioethanol	m ³	3,8	5,8	22,2	3,8	1,54	5,9
El	MWh	0,8	1,0	0,8	0,8	0,52	0,4
Varme	MWh	-7,1	1,0	-7,1	-7,1	0,01	-0,1
Samlet				17,8			6,2

Tabel 7. Scenario 4: Energibalance, CO₂-fortrængning af produkter produceret fra 1 ha foderkorn med 2. generations-ethanolproduktion – IBUS-koncept.

Herudover producerer IBUS-anlægget mindre mængder af foderproduktet C5-melasse med en lav foderværdi, som dog ikke indgår i beregningerne.

¹⁰ IBUS konceptet kilde: Energy balance of 2nd generation bioethanol production in Denmark. Niclas Scott Bentsen mf.

Ren 2. Generation - IBUS	enhed	Energibalance (MWh/ha)			CO ₂ -fortrængning (ton CO ₂ /ha)		
		Mængde	faktor	Bidrag	Mængde	pr. enhed	Bidrag
Nettoproduktion							
Kød	ton	1,9	3,1	5,9			
Bioethanol	m ³	1,1	5,8	6,3	1,1	1,54	1,7
El	MWh	1,6	1,0	1,6	1,6	0,52	0,8
Varme	MWh	-0,2	1,0	-0,2	-0,2	0,01	0,0
Samlet				13,6			2,5

Tabel 8. Scenario 4A: Energibalance, CO₂-fortrængning af produkter produceret fra 1 ha foderkorn med en ren 2. generations-ethanolproduktion – IBUS-koncept.

3.6 Scenario 5: Foderkorn og halm anvendes til 2. generations-bioethanolproduktion, biprodukterne anvendes som proteinfoder og til kraft+ varme (Maxifuel- koncept)

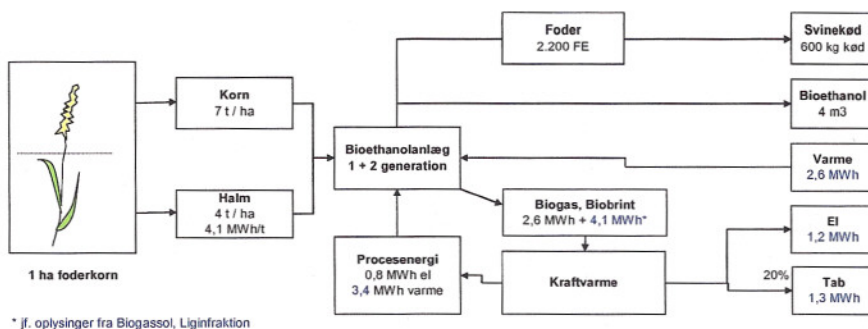
Data til beregning af scenario 5 og 5A baseres på sammenstilling af offentliggjorte data fra Maxifuel-konceptet¹¹.

I Scenario 5 anvendes korn og halm til fremstilling af bioethanol. Bi-produktet anvendes som foder; biogas og biobrint anvendes til energiproduktion. Efter notatets offentliggørelse i februar 2007, har Biogasol, som står bag Maxifuel-konceptet, gjort opmærksom på, at de oprindelige energibalancer ikke medtager energiproduktionen fra ligninfraktion.

Ifølge Biogasol udgør denne energiproduktion 4,1 MWh, og energibalancerne og CO₂ fortrængningseffekten er derfor i denne version af notatet opdateret.

Energiindholdet i biogas, biobrint og ligninfraktionen anvendes til kraftvarme produktion. Fra den producerede energi skal energibehovet for både halm-processen og kerne-processen fratrækkes. Varmeforbruget til 1. generations delen medfører at der er et behov for varmetilførsel.

¹¹ ATV, "Visioner for dansk bioethanol", 2007



Figur 6. Scenario 5: Udbytte af 1 ha foderkorn, hvor kornet og halmen anvendes til ethanolproduktion. Biprodukterne fra ethanol fremstillingen anvendes som foder og til kraft + varme.

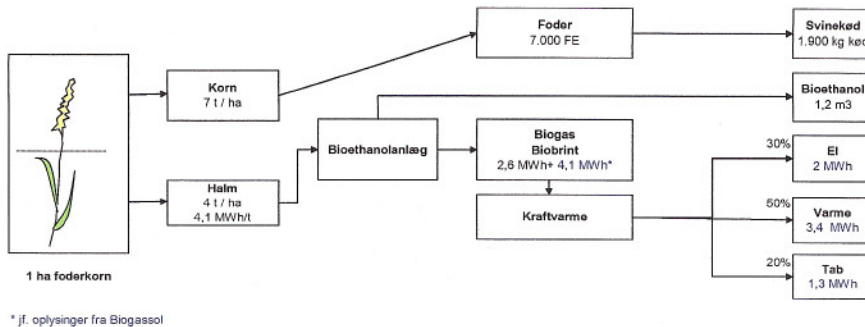
2. Generation - Maxi fuel	enhed	Energibalance (MWh/ha)			CO ₂ -fortrængning (ton CO ₂ /ha)		
		Mængde	faktor	Bidrag	Mængde	pr. enhed	Bidrag
Nettoproduktion							
Kød	ton	0,6	3,1	1,9			
Bioethanol	m ³	4,0	5,8	23,2	4,0	1,5	6,0
El	MWh	1,2	1,0	1,2	1,2	0,5	0,6
Varme	MWh	-2,6	1,0	-2,6	-2,6	0,0	-0,1
Samlet				23,7			6,5

Tabel 9. Scenario 5: Energibalance, CO₂-fortrængning af produkter produceret fra 1 ha foderkorn med 2. generations-ethanolproduktion – Maxifuel koncept.

3.7 Alternativt scenario 5A: Foderkorn anvendes som foder og halmen anvendes til 2. generations-bioethanolproduktion, biprodukterne anvendes til kraft+ varme (Maxifuel-koncept).

Dette scenario er et rent 2. generations-bioethanolkoncept, som udelukkende producerer ethanol på basis af halm. Energiproduktionen i kraftvarmeanlægget er den samme som i scenario 5, dog er energiforbruget betydeligt lavere, da kornet ikke forarbejdes til ethanol, men anvendes direkte som foder.

Dette scenario producerer derfor overskudsenergi, men mindre ethanol/ha.



Figur 7. Scenario 5A: Udbytte af 1 ha foderkorn, hvor kornet anvendes som foder og halmen anvendes til ethanolproduktion. Data på nettoenergiudbytte i form af biogas og biobrint stammer fra offentliggjorte data, energiudbytte fra ligninfraktionen beror på mundtlige oplysninger fra Biogassol. Både biogas og brint er konverteret til kraft og varme.

Nedenstående tabel præsenterer energibalance og CO₂ fortrængningseffekt ved en ren 2. generations- Maxifuel anlæg.

Ren 2. Generation - Maxi fuel	enhed	Energibalance (MWh/ha)			CO ₂ -fortrængning (ton CO ₂ /ha)		
		Mængde	faktor	Bidrag	Mængde	pr. enhed	Bidrag
Nettoproduktion							
Kød	MWh	1,9	3,1	5,9			
Bioethanol	m ³	1,2	5,8	7,0	1,2	1,54	1,8
Ei	MWh	2,0	1,0	2,0	2,0	0,52	1,0
Varme	MWh	3,4	1,0	3,4	3,4	0,01	0,1
Samlet				18,2			2,9

Tabel 10. Scenario 5A: Energibalance, CO₂-fortrængning af produkter produceret fra 1 ha foderkorn med en ren 2. generations-ethanolproduktion – Maxifuel-koncept.

4. Sammenfatning

Foderkornudbytte fra 1 ha landbrugsjord (antaget 7 t kerner og 4 t halm) kan anvendes til forskellige formål. Tabellen præsenterer summen beregningerne med hensyn til udbytte, energibalancerne og CO₂ fortrængningseffekten ved anvendelse af foderkorn i 5 teknologiscenarier.

	Produktion per ha	Kød	Bioethanol	Ei	Varme	Energi total	Reduceret
Scenario	Teknologi/enhed	ton	m ³	MWh	MWh	MWh	ton CO ₂
1	Dagens situation	1,9	-	4,9	8,2	19,0	2,6
2	Helplante til Energi	-	-	13,3	22,2	35,5	7,1
3	1. Generation	0,6	2,8	4,1	2,2	24,3	6,4
4	2. Generation - IBUS	0,6	3,8	0,8	-7,1	17,8	6,2
4A	Ren 2. Generation - IBUS	1,9	1,1	1,6	-0,2	13,6	2,5
5	2. Generation - Maxi fuel	0,6	4,0	0-1,2	(-4,7) - (-2,6)	20,4-23,7	6,1-6,7
5A	Ren 2. Generation - Maxifuel	1,9	1,2	0,8-2	1,3-3,4	15,0-18,2	2,3-2,9

Tabel 11. Anvendelse af 1 ha foderkorn i 5 forskellige teknologiscenarier.

Efter dagens praksis anvendes de producerede kerner som foder, og halmen anvendes delvis i de danske kraftvarmeværker til produktion af kraft + varme. Anvendelse af 4 t halm til energiformål medfører en CO₂-fortrængning på ~2,6 t.

I alle undersøgte teknologier giver afbrænding af den samlede biomasse det bedste energiudbytte (35,5 MWh / ha) og den største CO₂-fortrængningseffekt (7,1 t CO₂/ ha) ved produktion af el og varme. Anvendelse af hele planten til afbrænding i kraftvarmeværket medfører imidlertid, at der hverken produceres foder eller bioethanol.

Hvis CO₂ emissionerne fra transportsektoren ønskes nedbragt, er produktion af 1. generation bioethanol en mulighed, der kan tages i brug indenfor en kort tidshorisont, da teknologien er kendt. Energi - og CO₂ beregninger viser, at det er sandsynligt kan spares yderligere ~ 3,8 t CO₂/ ha, hvor energiudbyttet for 1 generations bioethanol er på 24,3 MWh / ha – 6,4 t CO₂/ha.

Udnyttelse af spildvarme fra andre produktioner (f.eks. kraftvarmeværker eller fabrikker) vil naturligvis forbedre energibalancen for alle situationer, hvor der fremstilles bioethanol. Dette er heller ikke afgørende om den enkelte fabrik, som skal fremstille bioethanol er energiforsynet med energi som er fremstillet på biomasse på værket, så længe biomassen fra produktionen af foderkorn anvendes til energiproduktion.

Der er ikke væsentlig forskel på energiudbyttet og CO₂ fortrængning ved brug af 1. og 2. generations teknologierne men begge vil kunne forbedres ved yderligere teknologiudvikling.

Sammenfattende kan det konstateres, at CO₂ fortrængningseffekterne og energibalancen af 1. og 2. generation ligger på et niveau af 80-90% i forhold til det maksimalt opnåelige som er præsenteret som scenario 1, med brug af hele planten til kraft-varme produktion.

5. Efterskrift

Efter notatet er blevet offentliggjort, er rapporten; *2 nd generation bioethanol for transport: The IBUS concept – boundary conditions and environmental assessment*¹² udkommet. Rapporten belyser desværre ikke de mest interessante scenarier som er ren 1. generation og 2. generation på halm med samtidig brug af halm til kraftvarme, og derfor kan resultaterne i denne rapport ikke direkte sammenlignes med resultaterne i dette notat.

¹² DTU, 2007, K. Hedegaard Jensen, K. Anker Thyø, Project supervision: Henrik Wenzel

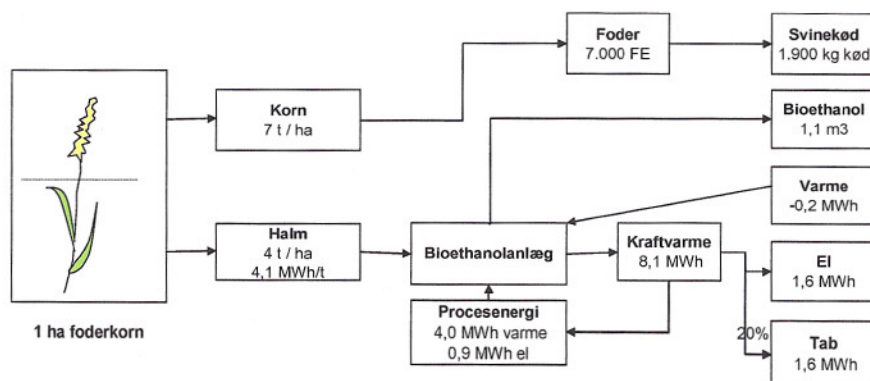
Af tabellen ovenfor ses, at der opnås et energi-output på 17,8 MWh/ha med 2. generations-bioethanolkonceptet IBUS. Der opnås et højere ethanoludbytte end ved 1. generation, men der opstår et behov for at få tilført varme. Konceptet er derfor tænkt placeret ved kraftværker, der i sommerperioder har en overskudsproduktion af varme. CO₂-fortrængningen ligger på niveau med 1. generations-bioethanolanlægget med 6,2 ton CO₂/ha.

3.5 *Alternativ scenario 4A: Foderkorn anvendes som foder og halm anvendes til 2. generations-bioethanolproduktion, biproduktet anvendes til kraft+ varme (ren 2- generations IBUS- koncept).*

I scenario 4A fodres kornet direkte til dyrene, mens halmen anvendes til ethanolproduktion i en ren 2. generations - IBUS- bioethanolproduktion.

Biproduktet (biomasse) anvendes i kraftvarmeanlægget til dækning af processens energibehov.

Som det kan ses i nedenstående figur, er der behov for mindre varme og el til ethanol fremstillingen, dog produceres der også mindre ethanol sammenlignet med scenario 4.



Figur 5. Scenario 4A: Udbytte af 1 ha foderkorn, hvor kornet anvendes som foder og halmen anvendes til ethanolproduktion efter en ren 2. generations-proces. Biproduktet fra ethanolproduktionen anvendes til kraft + varme.

I dette scenario produceres der 1,1 m³ ethanol/ha, og varmebehovet til processen er tilsvarende mindre. Beregningerne viser et nettounder-skud på varme. Energi- og CO₂-effekten er vist på næste tabel.