



SAMFUNDSØKONOMISK WELL-TO-WHEEL-ANALYSE AF BIOBRÆNDSTOFFER

Scenarieberegninger for rapsdiesel (RME)
og 1.- og 2.-generations bioethanol

Faglig rapport fra DMU nr. 797 2010



DANMARKS MILJØUNDERSØGELSER
AARHUS UNIVERSITET



[Tom side]

SAMFUNDSØKONOMISK WELL-TO-WHEEL-ANALYSE AF BIOBRÆNDSTOFFER

Scenarieregninger for rapsdiesel (RME) og 1.- og 2.-generations bioethanol

Faglig rapport fra DMU nr. 797 2010

Erik Slentø
Flemming Møller
Morten Winther
Mette Hjorth Mikkelsen



Datablad

- Serietitel og nummer: Faglig rapport fra DMU nr.
- Titel: Samfundsøkonomisk well-to-wheel-analyse af biobrændstoffer
Undertitel: Scenarieberegninger for rapsdiesel (RME) og 1.- og 2.-generations bioethanol
- Forfattere: Erik Slentø, Flemming Møller, Morten Winther, Mette Hjorth Mikkelsen
Afdeling: Afdeling for Systemanalyse
- Udgiver: Danmarks Miljøundersøgelser©
Aarhus Universitet
URL: <http://www.dmu.dk>
- Udgivelsesår: Oktober 2010
Redaktion afsluttet: September 2010
Faglig kommentering: Camilla Hay, Ea Energianalyse a/s; Anders E. Larsen, Ea Energianalyse a/s.
- Finansiel støtte: Forsknings- og Innovationsstyrelsen, Det Strategiske Forskningsråd, Programkomiteen for Bæredygtig Energi og Miljø.
- Bedes citeret: Slentø, E., Møller, F., Winther, M. & Mikkelsen, M.H. 2010: Samfundsøkonomisk well-to-wheel-analyse af biobrændstoffer. Scenarieberegninger for rapsdiesel (RME) og 1.- og 2.-generations bioethanol. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 130 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 797. <http://www.dmu.dk/Pub/FR797.pdf>
- Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
- Sammenfatning: Rapporten analyserer, i en integreret form, de energimæssige, emissionsmæssige og velfærdsøkonomiske konsekvenser ved at introducere dansk produceret biobrændstof af typerne rapsdiesel (RME) og første og anden generations hvedeethanol i to scenariosituationer med henholdsvis lav og høj iblandingsprocent.
- Emneord: Well-to-wheel-analyse, Biobrændstof, RME, Rapsdiesel, Bioethanol, Velfærdsøkonomi, Samfundsøkonomisk konsekvensanalyse, Consequential LCA, multikriterieanalyse, CO₂, Emissionskonsekvenser, Reduktionsomkostninger.
- Layout: Ann-Katrine Holme Christoffersen
- ISBN: 978-87-7073-194-2
ISSN (elektronisk): 1600-0048
- Sideantal: 130
- Internetversion: Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) på DMU's hjemmeside <http://www.dmu.dk/Pub/FR797.pdf>

Indhold

Forord 5

Sammenfatning 6

- Væsentlige afgrænsninger 7
- Arealbegrænsninger 8
- Landbrugsmæssige grundantagelser 8
- Resultater 9

1 Indledning 11

- Scenarier 11
- Efterfølgende kapitler 13

2 Integreret well-to-wheel-analyse 14

- 2.1 Velfærdsøkonomisk analysemetode 14
- 2.2 Afgrænsninger, forbehold o.a. 18
- 2.3 65 \$- og 100 \$-scenarievarianter 22
- 2.4 Illustrativ scenariefremskrivningsmetode 22

3 RME, år 2010 24

- 3.1 Gennemgang af RMEs vej mark til motor 24
- 3.2 Resultater for år 2010 27
- 3.3 Opsummering og diskussion om RME 32

4 Bioethanol, år 2010 35

- 4.1 Bioethanols produktionsproces 35
- 4.2 Første generation bioethanol, resultater og diskussion 37
- 4.3 Anden generation bioethanol, resultater og diskussion 43

5 Illustrativ scenariefremskrivning 50

- 5.1 Forudsætninger for fremskrivninger 50
- 5.2 Illustrativ HS1-scenariefremskrivning 54
- 5.3 Illustrativ HS2-scenariefremskrivning 58
- 5.4 Sammendrag om scenariefremskrivningerne 62

6 Følsomhedsanalyser af HS1-scenarierne 63

- 6.1 Følsomhedsanalyse: "75 % halmbrændsel" 63
- 6.2 Følsomhedsanalyse: "75 % referenceudbytte" 64
- 6.3 Følsomhedsanalyse: "Integreret produktionsenergi" 65
- 6.4 Følsomhedsanalyse: "Enzympris 200 %" 66
- 6.5 Følsomhedsanalyse: "150 % emissionspris" 67
- 6.6 Følsomhedsanalyse: "CO₂-pris 500 %" 68
- 6.7 Følsomhedsanalyse: "Halmpris 125 %" 69
- 6.8 Følsomhedsanalyse: "Hvedekernerpris +/- 35 %" 70
- 6.9 Følsomhedsanalyse: "Rapskagepris +/- 25 %" 71

7 Sammendrag, vurdering og diskussion af resultater 73

- 7.1 Oversigt over samfundsmæssige konsekvenser 73
- 7.2 Vurdering 80
- 7.3 Sammenligning med øvrige studier 82
- 7.4 Usikkerheder 84

Referencer 86

Appendiks 1: Begreber, definitioner, forkortelser etc. 91

Basale forhold 91

Begreber anvendt i rapporten 91

Appendiks 2: Energirelaterede basisdata 93

Appendiks 3: Enhedsomkostninger 95

Appendiks 4: Anvendte og beregnede emissionsfaktorer 99

Appendiks 5: Udspecificerede emissionskonsekvenser 101

Appendiks 6: Oversigt over antagelser 106

RME produktion 106

Hvedeethanol (1.G.) produktion 107

Hvedeethanol (2.G.) produktion 107

Fossile brændstoffer 107

Antagelser om transport af produkter fra led til led 108

Appendiks 7: Detaljeret beskrivelse af produktionsdata - Landbrug 110

Appendiks 8: Detaljeret beskrivelse af produktionsdata – RME konvertering 116

Appendiks 9: Detaljeret beskrivelse af produktionsdata - Første generations bioethanolkonvertering (1.G.) 118

Appendiks 10: Detaljeret beskrivelse af produktionsdata – Anden generations bioethanolkonvertering (2.G.) 119

Appendiks 11: Detaljeret beskrivelse af fossilt brændstofs data 123

Beregning af råolie og naturgas opstrømsenergi 123

Olie- og naturgasekstraktion 123

Olie- og naturgastransport på land 124

Fossil diesel og benzin opstrømsenergi 124

Elektricitets opstrømsenergi 125

Kuls opstrømsenergi 126

Beregning af fossile brændstoffers opstrømsmissioner 126

Danmarks Miljøundersøgelser

Faglige rapporter fra DMU

Forord

Denne rapport er finansieret inden for forskningsprojektet "Renewable Energy for the Transport Sector Using Biofuel as Energy Carriers" (RE-BECa) som har modtaget støtte fra Programkomiteen vedrørende Energi og Miljø under det Strategiske Forskningsråd, Forsknings- og Innovationsstyrelsen. Projektperioden er 2007-2010.

Steen Gyldenkerne, Rikke Albrektsen og Ole-Kenneth Nielsen, alle fra Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet (DMU) takkes for venlig assistance. Ann-Katrine Holme Christoffersen (DMU) takkes for opsætning og korrekturlæsning af rapporten. Ligeledes takkes en række af eksterne informanter, hvilke fremgår af referencelisten, for venligt assistance.

Rapporten er fagligt kommenteret af Camilla Hay og Anders E. Larsen fra Ea Energianalyse a/s. Vi er dem taknemmelige for konstruktive kommentarer og forslag til faglige præciseringer i rapporten. Ansvar for de faglige og metodiske valg samt eventuelle fejl er dog helt og holdent vort eget.

Sammenfatning

Denne rapport bringer en integreret well-to-wheel-analyse af de samfunds- og miljømæssige konsekvenser ved at realisere forskellige scenarier med stigende iblanding af dansk produceret biobrændstof fra 2010 til 2030. En well-to-wheel-analyse er en afgrænset livscyklusanalyse af et brændstofs vej fra kilden over forarbejdning til forbrænding i bilen. Well-to-wheel-analysen er udført som en velfærdsøkonomisk konsekvensanalyse baseret på bl.a. data om energiforbrug og emissioner. Analyserne af sidstnævnte elementer fremhæves separat således, at well-to-wheel-analysen fremstår i tre parallelle spor. Fordelen ved denne integrerede well-to-wheel-analysemetode er, at man meget præcist får belyst de tre vigtige aspekter velfærdsøkonomi, energiforbrug og emissioner i forhold til hinanden.

Der er i REBECA-projektet grundlæggende opstillet og analyseret to hovedscenarier; et med en moderat iblanding af biobrændstoffer, HS1, som implementerer det nuværende danske mål i overensstemmelse med EU (CEC, 2009) om 10 % iblanding i 2020 og videre frem til 2030, og et med høj iblanding, HS2, toppende i 2030 med 25 % iblanding - målt som energiandele. Som udgangspunkt har begge scenarier implementeret 5,75 % iblanding i bilbrændstoffer i 2010, hvilket har været den hidtidige danske målsætning, som dog sidenhen er modificeret i dansk lov om bæredygtige biobrændstoffer (Klima- og Energiministeriet, 2009b) til først at skulle være opfyldt i 2012. De to hovedscenarier er undersøgt i en basisudgave, hvor verdensmarkedsprisen på råolie antages at være 65 \$ per tønde som i 2006. I lyset af de stigende oliepriser er der også lavet en variant med en oliepris på 100 \$ per tønde. Den reelle pris i 2010 har ligget på 70-80 \$ per tønde.

Der er valgt tre typer biobrændstof: rapsdiesel, også kaldet raps-methylester (RME), bioethanol produceret enten fra hvedekerner (1.G. eller første generation bioethanol) samt fra hvedehalm (2.G. eller anden generation bioethanol).

Grundprincippet i den velfærdsøkonomiske konsekvensanalyse er at se på velfærdsændringerne, udtrykt i kroner og ører, ved at gå fra en tilstand til en anden. Dette afviger fra en snæver virksomhedsnær budgetøkonomisk analyse af hvad et tiltag i sig selv vil koste, idet man kan risikere, at hvad der ser fordelagtigt ud for en enkelt virksomhed, vil være ufordelagtig i et større velfærdsøkonomisk perspektiv. Eksempelvis fordi den ny produktion trækker ressourcer væk fra hidtidig produktion, som har været mere fordelagtig, eller fordi den ny produktion belaster miljøet mere end den hidtidige. Eller omvendt. Om forskellen mellem velfærdsøkonomisk analyse og budgetøkonomisk analyse henvises i øvrigt til Miljøministeriet (2010).

Rapportens beregninger viser, hvad de velfærdsøkonomiske konsekvenser vil være af at realisere scenarierne. Hvad incitamentet til at realisere disse scenarier skal være, er en anden sag, hvor det enten vil være markedsprisudviklingen eller subsidier der er bestemmende for, om landmanden vælger at dyrke afgrøder til biobrændstoffer, og om konverte-

ringsfabrikkerne vælger at basere deres produktion på danske afgrøder eller importerede.

Den velfærdsøkonomiske analyse inkluderer værdien af ændringer i energiforbrug og emissioner, foruden ændringer i det øvrige ressourceforbrug forbundet med investeringer og drift. Sideordnet hermed er der også udført separate ændringsanalyser for energi og emissioner, men inden for samme analysekoncept som det velfærdsøkonomiske. Disse analyser svarer til livscyklusanalysetypen Consequential LCA, hvor man sporer miljø- og ressourceeffekterne af en aktivitet i forhold til et alternativ eller en reference, dvs. beregner konsekvenserne.

Mht. luftemissioner målt i mængder, er der analyseret for kuldioxid (CO_2), metan (CH_4) og lattergas (N_2O), som alle tre er blandt de såkaldte drivhusgasser og som samlet kan udtrykkes i CO_2 -ækvivalenter, hvor CH_4 og N_2O 's drivhusgaseffekt er ækvivaleret til CO_2 -niveau. Derudover analyseres for kvælstofoxid (NO_x), svovldioxid (SO_2), non-methane volatile organic compounds (NMVOC), kulilte (CO) og ammoniak (NH_3) samt particulate matter (PM) dvs. partikler. Emissionerne stammer typisk fra energiforbrændinger. Dog er emissioner fra jordens gødningsomsætning af N_2O og NH_3 også indregnet. Endelig opgøres også udvaskningsmængderne af kvælstof (N) og fosfor (P) fra landbrugsjorden.

De velfærdsøkonomiske beregningspriser for drivhusgasserne CO_2 , CH_4 , N_2O samt for NO_x og SO_2 , samt for N- og P-udvaskningen er indregnet. De øvrige emissioner findes der ikke officielle beregningspriser for, hvorfor de ikke indgår i beregningerne.

Væsentlige afgrænsninger

Analysen fokuserer på konsekvenser i Danmark ved dyrkning på dansk jord af afgrøder til biomasse. Dette betyder, at der ikke er taget højde for indirekte konsekvenser i andre lande. Der er således heller ikke taget højde for internationale problematikker omkring arealanvendelse til biobrændstofproduktion versus fødevarerforsyning. At biobrændstofferne fra grunden er produceret i Danmark, betyder dog ikke at samhandlen med udlandet ikke påvirkes. Dette vil nemlig ske ved at den hidtidige landbrugsproduktions udbytter (her antaget at være hvede) må erstattes af importerede produkter. Ligeledes vil biprodukter fra biobrændstofproduktionen erstatte hidtidig import af tilsvarende produkter.

De anvendte beregningspriser på produkter og ressourcer er markedspriser inkluderet Nettoafgiftsfaktor (NAF). Beregningspriserne reflekterer således hhv. produkternes velfærds-mæssige værdi for forbrugerne og ressourcernes marginale velfærds-mæssige værdiproduktivitet - se i øvrigt Miljøministeriet (2010) om importerede produkters produktionsomkostninger. Opstrømsenergiforbrug for importerede produkter er medregnet i importprisen, dvs. energien forbrugt til at producere produktet. Derimod er emissioner opstået i udlandet, som følge af produktion af importerede produkter, ikke medregnet. Dette skyldes, at der er valgt det danske samfundsøkonomiske perspektiv, hvor kun emissioner opstået i Danmark opgøres til EU og FN, og således er omfattet af reduktionsforpligtigelser.

Der er i projektet afstået fra at beregne konsekvenser for opbygningen af kulstofpuljer i landbrugsjorden ved at skifte afgrøde og især ved at undlade at nedmulde halm til fordel for biobrændstofproduktion og kraftværksforbrænding. Vidensområdet og data er usikre, men givetvis har halmens strukturforbedrende egenskaber og mikroorganismer effekt på tilgængelig kvælstofmængde for næste års afgrøder. Man kan forestille sig fleksible løsninger på denne problematik, som f.eks. dyrkning af efterafgrøder der nedmuldes, eller fordeling af halm fra marker der ikke er berørt af biobrændstofproduktionen, men dette er der altså ikke taget højde for i dette projekt.

Scenariernes CO₂-fortrængning i procenter beregnes i forhold til referencesituationen der omfatter emissioner fra både dyrkning, transport og det fossile brændstofs produktion og forbrænding. I Bekendtgørelse om biobrændstoffers bæredygtighed (Klima- og Energiministeriet, 2009a) er der opstillet en metode for at beregne biobrændstoffers CO₂-fortrængning, der følger EU's direktiv om vedvarende energi (CEC, 2009). Her er referencesituationen, som fortrængningen beregnes i forhold til, alene udgjort af emissionerne relateret til fossilt brændstofs produktion og forbrænding, og ville, hvis anvendt, give et andet resultat end det her angivne. I rapportens sammendragkapitel angives dog en overslagsberegning efter biobrændstofbekendtgørelsens metode.

Arealbegrænsninger

Det er i dette projekt antaget, at de to scenarier uproblematisk kan lægge beslag på areal i dansk landbrug for at realiseres. Dette er naturligvis en tilnærmelse, idet der vil være end del afledte effekter f.eks. i forhold til dyrehold, der spiller ind. En enkelt væsentlig arealbegrænsning tages der hensyn til, nemlig at der maksimalt kan dyrkes 25 % raps på den danske landbrugsjord i rotation. Dette skyldes, at for at undgå plantesygdomme bør man maksimalt dyrke raps på samme mark hvert fjerde år. Denne begrænsning får konsekvenser for HS2-scenariet, som ikke kan realiseres fuldt ud uden supplerende import af RME.

Landbrugsmæssige grundantagelser

Resultaterne er stærkt præget af landbrugsdelen af produktionskæden for biobrændstofferne og de er meget følsomme over for de antagelser der er gjort. Det antages som udgangspunkt, at det er hvedemarker der påvirkes af scenarierne, dvs. at de enten inddrages til fordel for rapsproduktion, eller at det er korn og halm fra hvedemarkerne der går til 1. og 2.G.-bioethanol. Fra disse hvedemarker i referencesituationen antages det, at kun 26 % halm har en værdi der mistes, hvis hvedeproduktionen omstilles til rapsproduktion. Disse 26 % svarer til den statistiske udnyttelse af halm i kraftværker i dag. Den øvrige andel halm anvendes til strøelse, foder eller nedmuldes og anses for en ledig ressource i hovedscenerierne. Det antages derfor i de scenarier der undersøger 2.G.-bioethanol, at man problemfrit og uden omkostninger kan anvende 50 % halm - som hidtil er gået til nedmuldning og strøelse.

I rapsscenedelene er det antaget at 100 % af rapshalmen anvendes i kraftvarmeværker, og derfor har en brændselsværdi. Dette står således i

kontrast til referencesituationen, hvor kun 26 % hvedehalm antages at have brændselsværdi. Forskellen er, at referencesituationen reflekterer virkeligheden, mens scenariosituationen opstiller en realiserbar fremtid, velvidende at biprodukter fra både landbruget og konverteringsprocesserne skal udnyttes optimalt for at give biobrændstofferne velfærdsøkonomisk gevinst. Men det antyder, at resultaterne skal tolkes med stor forsigtighed. Til hjælp herfor er der udført et antal følsomhedsanalyser.

Resultater

Tabellen herunder viser i oversigt konsekvenserne for hovedscenarierne HS1 og HS2 i 65 \$- og 100 \$-varianterne med hensyn til energiforbrug, CO₂eq-emissioner og velfærdsøkonomi. Tallene er vist for 2010, 2020 og 2030. Dog er der ikke angivet tal for HS2 i 2030, da tallene, pga. arealbegrænsninger for rapsdyrkning, ikke kan realiseres ud fra dansk dyrket raps alene.

Energimæssige, emissionsmæssige og velfærdsøkonomiske konsekvenser ved realisering af HS1 og HS2 i 65 \$- og 100 \$-varianten, angivet i procent i forhold til referencesituationen.

	HS1			HS2		
	2010	2020	2030	2010	2020	2030*
65 \$-variant	%					
Fossil energiforbrugsændring i forhold til referencesituationens fossile energiforbrug pr. enhed biobrændstof	-61	-60	-60	-61	-60	n.a.
Fossil energiforbrugsændring i forhold samlet dansk fossil energiforbrug på 721 PJ i 2008	-2	-4	-5	-2	-7	n.a.
CO ₂ eq-emissionsforøgning i forhold til referencesituation pr. enhed biobrændstof	-59	-57	-57	-59	-57	n.a.
CO ₂ eq-emissionsændringer i forhold til Danmarks samlede emissioner 2008	-2	-4	-4	-2	-6	n.a.
Velfærdsøkonomisk gevinst	-391 mio. kr.	-565 mio. kr.	-600 mio. kr.	-391 mio. kr.	-783 mio. kr.	n.a.
CO ₂ -reduktionsomkostning pr. ton CO ₂ eq	409 kr. pr. ton	277 kr. pr. ton	253 kr. pr. ton	409 kr. pr. ton	290 kr. pr. ton	n.a.
100 \$-variant	%					
Fossil energiforbrugsændring i forhold til referencesituationens fossile energiforbrug pr. enhed biobrændstof	-61	-59	-59	-61	-59	n.a.
Fossil energiforbrugsændring i forhold samlet dansk fossil energiforbrug på 721 PJ i 2008	-2	-4	-4	-2	-6	n.a.
CO ₂ eq-emissionsforøgning i forhold til referencesituation pr. enhed biobrændstof	-59	-57	-57	-59	-57	n.a.
CO ₂ eq-emissionsændringer i forhold til Danmarks samlede CO ₂ eq-emissioner 2008	-2	-3	-4	-2	-5	n.a.
Velfærdsøkonomisk gevinst	189 mio. kr.	553 mio. kr.	673 mio. kr.	189 mio. kr.	922 mio. kr.	n.a.
CO ₂ -reduktionsomkostning pr. ton CO ₂ eq	-161 kr. pr. ton	-230 kr. pr. ton	-246 kr. pr. ton	-161 kr. pr. ton	-204 kr. pr. ton	n.a.

* Værdier for 2030 præsenteres ikke pga. for stor usikkerhed (= n.a.).

Som tabellen viser, vil der generelt set være velfærdsøkonomisk tab ved at realisere scenarierne ved en oliepris på 65 \$, mens der vil være gevinst ved 100 \$. Den velfærdsøkonomiske omkostning på CO₂eq-reduktioner ligger i 65 \$-varianterne alle over 100 kr. per ton CO₂eq, hvilket var den gældende kvotepris i 2009 (Energistyrelsen, 2009). I 100 \$-varianterne er omkostningen i alle tilfælde negativ, hvilket betyder at det er forbundet med besparelse at reducere emissionerne.

Hvis transportsektoren var omfattet af kvotesystemet, kunne man således konkludere at det med en oliepris på 65 \$, ville være dyrere for samfundet at implementere dansk producerede biobrændstoffer end at købe sig til reduktionerne via CO₂-kvoter der er tilknyttet ETS-systemet (European Trading Scheme). Med lovbestemte iblandingsprocenter for biobrændstoffer er kvotehandel imidlertid ikke en løsning. Derfor gælder det om at biobrændstofferne i sig selv er billigst mulige, og at deres CO₂-reduktioner er størst mulige.

Både de fossile energiforbrugskonsekvenser og CO₂eq-emissionskonsekvenserne ligger omkring - 60 % i alle varianter og alle år, når der beregnes hvad 1 kg biobrændstof giver anledning til af reduktioner. I forhold til Danmarks samlede energiforbrug i 2008 udvikler det fossile energiforbrug sig fra en reduktion på 2 % til 7 % procent over årene. Tilsvarende udvikler CO₂-emissionsreduktionerne sig fra 2 % til 6 % i forhold til Danmarks samlede CO₂eq-emissioner i 2008.

Øvrige forurenende emissioner, dvs. NO_x, SO₂, NMVOC, NH₃, CO samt partikler (PM), viser positive eller negative udsving, der alle er minimale i forhold til Danmarks samlede emissionsniveauer (ej vist i tabellen herover).

Det skal pointeres, at resultaterne er beregnet på baggrund af en række antagelser og behæftet med usikkerheder, hvorfor resultaterne i denne rapport kun bør anvendes til sit tiltænkte formål, nemlig beslutningsstøtte, hvor de konkrete antagelser og følsomhedsanalyser tages med i betragtning. Det skal også tages i betragtning, at der er en del problematikker der ikke er inddraget i analysen, f.eks. spørgsmålet om effekten af at borstskaffe halm fra markerne og således miste dens nærings- og strukturforbedrende egenskaber ved nedmuldning.

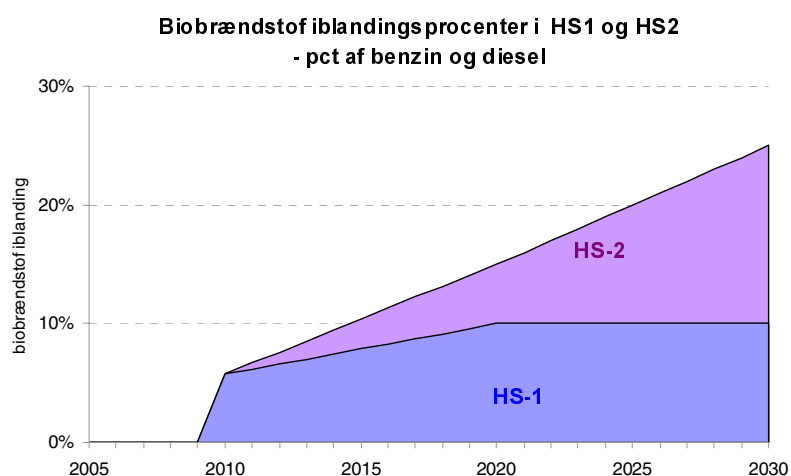
Endelig skal det pointeres at afgrænsningen og dermed synsvinklen i analysen er dansk. En positiv velfærdsændring i Danmark kan sagtens ske på bekostning af velfærdstab i udlandet. For eksempel kan den mistede produktion af foder eller fødevarer i Danmark til fordel for biobrændstof, medføre øget import, hvilket igen kan belaste lokal fødevarerforsyning og miljø uden for Danmark.

1 Indledning

I denne rapport fremlægges resultaterne af en integreret well-to-wheel(WTW)-analyse foretaget i REBECa-projektets arbejdsplaner WP2 og WP7. Well-to-wheel-analysen er en afgrænset livscyklusanalyse, som analyserer brændstoffers vej fra oprindelse (well) til mekanisk energi ved køretøjets hjul (wheel). Det er således energiens vej igennem systemet der er i fokus. En WTW-analyse forholder sig basalt til energiforbruget, men også til resulterende emissioner, og evt. også til de velfærdsøkonomiske costs og benefits. I dette studie analyseres alle tre aspekter ud fra en integreret metode, hvor der ses på konsekvenserne ved at realisere biobrændstofs scenarier i forhold til en business-as-usual referencesituation (Møller & Slentø, 2010). Den økonomiske analyse følger den velfærdsøkonomiske analysemetode og afspejles i energi- og emissionsanalysens metode. For alle tre aspekter er det interessant, hvilke ændringer der samlet set sker for det danske samfund ved at gå fra fossile brændstoffer til alternative brændstoffer.

1.1 Scenarier

I REBECa-projektets scenariedel (WP1) er der opstillet to hovedscenarier HS1 og HS2 (Figur 1.1).



Figur 1.1 Biobrændstoffets samlede andel af vejtransportens primærenergiforbrug i de to hovedscenarier (jf. Jørgensen, 2008).

Hovedscenarie 1 (HS1), også kaldet Policy Scenario, følger EU's grundlæggende referencemålsætninger om 5,75 % biobrændstof iblandet fossile brændstoffer i 2010 og 10 % i 2020 og videre frem (CEC, 2009). Målsætningen om 5,75 % biobrændstofiblanding i 2010 er sidenhen modificeret til først at skulle opfyldes i 2012, og behøver nu ikke længere kun at være biobrændstoffer men blot vedvarende energi, der f.eks. inkluderer vindenergi (Klima- og Energiministeriet, 2009b).

Hovedscenario 2 (HS2) er mere markant i sin udvikling. Der regnes stadig med 5,75 % biobrændstof i 2010, men stigende til 15 % i 2020 og 25 % i 2030.

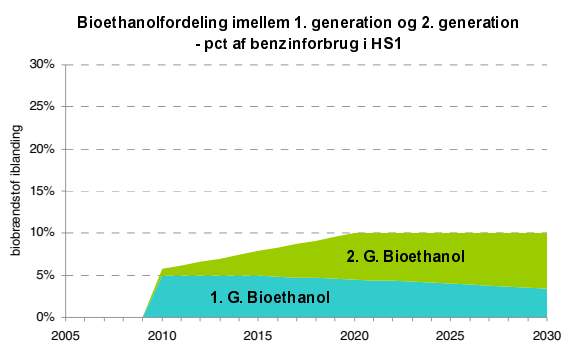
De to hovedscenarier beregnes i to grundlæggende varianter med en oliepris på hhv. 65 \$ og 100 \$ per tønde. Ud over at dette får betydning for de velfærdsøkonomiske beregninger, får det også betydning for transportarbejdet i fremtiden, der beregnes som mindre ved højere energipriser.

For begge scenarier gælder det at raps-methyl-ester (RME) også kaldet rapsdiesel tilsættes konventionel fossil diesel og hvedeethanol tilsættes konventionel fossil benzin, dvs. brændstoffer produceret fra fossil olie. De tilsættes samme procentmæssige energiandel, dvs. 5,75 % RME og 5,75 % Bioethanol for 2010. Iblandingsforholdet regnes i energiprocenter, og således er det vægtmæssige iblandingsforhold anderledes, idet biobrændstoffer og fossil energi har forskelligt energiindhold.

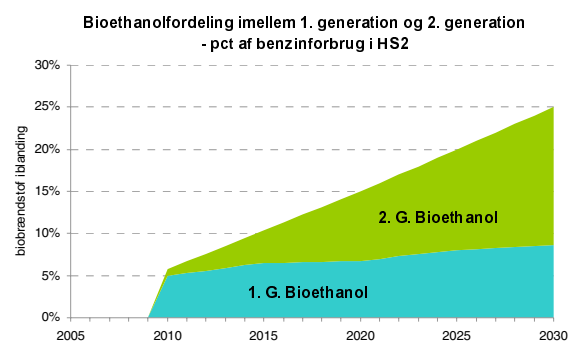
For biodiesel regnes der kun med én fremstillingsmetode, mens der for bioethanol skelnes imellem første generation (1.G.) og anden generation (2.G). 1.G.-bioethanol baseres på omdannelse af hvedekerner til alkohol ved en traditionel fermentationsproces. 1.G.-bioethanol er baseret på hvedehalm. Her er teknologien stadig ung. Basalt set består vanskeligheden i at nedbryde halmens lignocellulosestrukturer på en så energieffektiv måde at det er muligt at omdanne kulstoffibre til ethanol. Da 2.G.-metoden baserer sig på halm og ikke hvedekorn med potentiel næringsværdi for mennesker og dyr, anses halmen og anden overskydende biomasse at være at foretrække i en bioethanolproduktion.

Figur 1.2 herunder viser hvordan fordelingen imellem de to generationer bioethanol antages at udvikle sig inden for HS1 og HS2.

Hovedscenario 1



Hovedscenario 2



Figur 1.2 Fordeling af bioethanol-produktionen på 1.G. og 2.G. i Hovedscenario 1 og Hovedscenario 2 (jf. Jørgensen, 2008).

Tabel 1.1 herunder opsummerer iblandingsprocenterne i HS1 og HS2 på baggrund af ovenfor nævnte scenarier for biobrændstoffers indfasning i transportsektoren.

Tabel 1.1 Iblandingsprocenter af biobrændstof i fossil brændstof samt fordelingsprocenter imellem 1. og 2. generations bioethanol 2010-2030 (jf. Jørgensen, 2008).

Iblandingsprocenter for både biodiesel og bioethanol					
	2010	2015	2020	2025	2030
HS1	5,75 %	7,9 %	10 %	10 %	10 %
HS2	5,75 %	10,4 %	15 %	20 %	25 %
Fordelingsprocenter imellem 1. og 2. generations bioethanol					
	2010	2015	2020	2025	2030
HS1					
1.G.-ethanol	87 %	63 %	45 %	40 %	35 %
2.G.-ethanol	13 %	37 %	55 %	60 %	65 %
HS2					
1.G.-ethanol	87 %	48 %	33 %	25 %	20 %
2.G.-ethanol	13 %	52 %	67 %	75 %	80 %

I forhold til iblandingsprocenter i tabel 1.1 er der beregnet nødvendigt brændstofforbrug og resulterende emissioner fra kørselsarbejdet (Winther & Plejdrup, 2010) på baggrund af ovennævnte scenarieforudsættninger og fremskrivninger af transportarbejdet ved hjælp af DTU-Transports fremskrivningsmodel (jf. Frederiksen & Jensen, 2010). Dette belyses videre i kapitel 5 med illustrative scenariefremskrivninger.

1.2 Efterfølgende kapitler

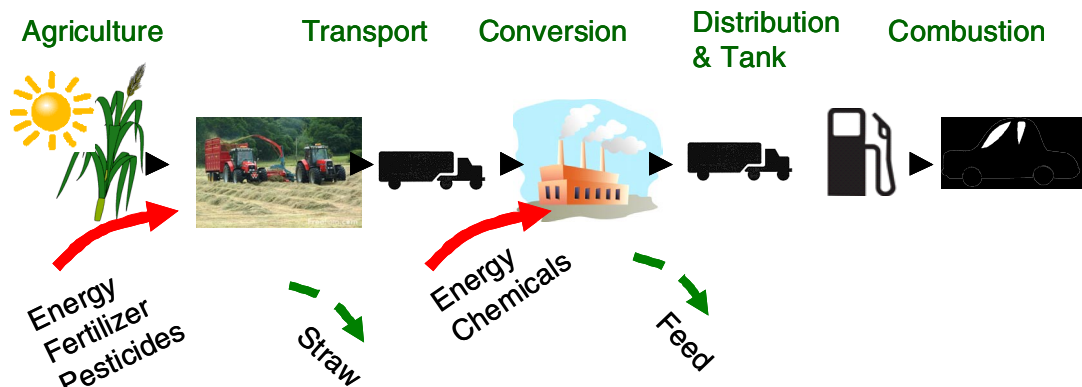
I kapitel 2 gennemgås analysemetoden som opstillet i Møller & Slentø (2010). I kapitel 3 beregnes scenariekonsekvenserne per enhed RME for år 2010, og i kapitel 4, tilsvarende beregninger per enhed 1.G.- og 2.G.-bioethanol. I kapitel 5 fremskrives konsekvenserne af at realisere de to hovedscenariers i deres 65 \$- og 100 \$-varianter. Resultaterne belyses ved følsomhedsanalyser i kapitel 6. Endelig, i kapitel 7, vurderes og perspektiveres.

2 Integreret well-to-wheel-analyse

2.1 Velfærdsøkonomisk analysemetode

Den velfærdsøkonomisk WTW-analysemetode, anvendt i dette studie, beskriver velfærdsændringerne ved at skifte fra en referencetilstand til en alternativ scenarietilstand rækkende frem til 2030. Metoden er grundigt beskrevet og detaljeret gennemregnet for RME (biodiesel) i Møller & Slentø (2010). Et grundprincip er betragtningen at ressourcerne er knappe, hvorfor det trækker ressourcer væk fra en hidtidig produktion, hvis man begynder en ny produktion. Dvs. hvis man begynder at dyrke raps på en mark, ophører man at dyrke en hidtidig afgrøde. Dette betyder at man i cost-benefit-beregninger ikke alene ser på omkostninger og fortjenester ved den ny produktion, men også fraregner de mistede omkostninger og fortjenester ved den hidtidige produktion. Ændringen angiver derved konsekvenserne for samfundet ved denne ny produktion. Perspektivet er altså det samfundsmæssige og ikke det virksomhedsnære.

Hvor analysemetoden er den velfærdsøkonomiske, er analyserammen defineret som i en traditionel WTW-analyse. En WTW-analyse, kaldes en afgrænset LCA-analyse, og analyserer et brændstofs vej fra kilden til udnyttelse som mekanisk energi ved hjulet i et køretøj. For biobrændstoffer analyserer man således flowet fra dyrkning af biomasse over konvertering til flydende biobrændstof til forbrændingen i bilen. Se figur 2.1.



Figur 2.1 WTW-analyseflow for biobrændstoffer, fra dyrkning på mark over konvertering til anvendelse i køretøjet.

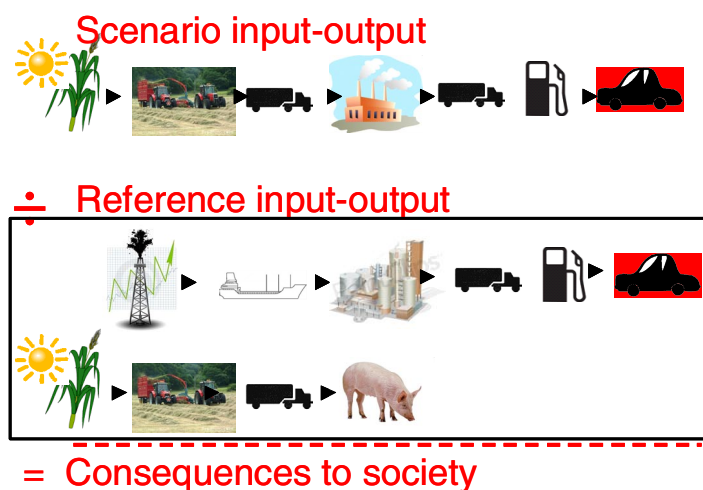
Typisk analyseres der for energiforbrug og relaterede emissioner. WTW-analysen betegnes som nævnt en afgrænset LCA-analyse, idet den fokuserer på de direkte inputs i produktionsprocessen (energi, råvarer, kemikalier etc.), mens der ses bort fra konstruktion af bygninger og maskiner og lignende. Retfærdiggørelsen herfor er, at størrelserne er marginale i forhold til en enhed brændstof, og da man ydermere typisk er fokuseret på at sammenligne forskellige brændstoffer, elimineres betydningen yderligere.

Som udgangspunkt for at foretage WTW-analysen ud fra velfærdsøkonomiske principper, inkluderer man automatisk ændringer i energifor-

brug og emissioner, idet disse repræsenterer vigtige velfærdsøkonomiske konsekvenser.

Derudover er der i dette studie valgt at fremhæve energiforbruget og emissionerne som selvstændige delanalyser. Således udføres der tre parallelle WTW-analyser på hhv. energiforbrugsmæssige, emissionsmæssige og velfærdsøkonomiske konsekvenser, hvor sidstnævnte udgør den overordnede analyse, mens energianalysen og emissionsanalysen er underordnede og belyser delaspekter omkring biobrændstofferne. Emissionskonsekvenserne beregnes for drivhusgasserne CO₂ (kuldioxid), CH₄ (metan) og N₂O (lattergas) samt de forurenende stoffer NO_x (kvælstofoxid), SO₂ (svovldioxid), CO (kulilte), NMVOC (non-methan volatile compounds), NH₃ (ammoniak), CO (kulilte) og PM (partikler).

Konsekvensperspektivet på analyserne betyder, at man sammenligner til en referencesituation (eller en alternativ situation), som illustreret i figur 2.2.



Figur 2.2 Konsekvensanalysens princip. Scenariets input-outputbalance for dyrkning af biomasse og omdannelse til biobrændstof fratrækkes referencesituationens input-outputbalance for henholdsvis anden dyrkning på markerne og produktion af fossilt brændstof.

Scenarietsituationens WTW-input/outputbalance udregnes og fratrækkes referencesituationens hidtidig input/output-balance. For et biobrændstof er referencesituationen delt op i to produktioner. Dels på hvad der hidtil er dyrket på den aktuelle mark og dels på hvilket fossilt brændstof man hidtil har produceret og anvendt.

2.1.1 Velfærdsøkonomisk CO₂ reduktionsomkostning

Som en del af den velfærdsøkonomiske analyse er de velfærdsøkonomiske omkostninger (eller besparelser) per ton CO₂eq beregnet, hvilket giver en sammenlignelig størrelse inden for projektets rammer, men også i forhold til eksternt beregnede reduktionsomkostninger (nogle gange misvisende betegnet skyggepris) og i forhold til CO₂-kvote-prisen på 100 kr. per ton CO₂ (Energistyrelsen, 2009). I Energistyrelsens "Vejledning i samfundsøkonomiske analyser på energiområdet" skelnes der imellem "opgørelse af samfundsøkonomisk overskud" i forhold til "traditionelle samfundsøkonomiske CO₂-reduktionsomkostninger (CO₂-skyggepriser)", men der understreges at "den grundlæggende tilgang til samfunds-

økonomiske beregninger er uændret”(Energistyrelsen, 2007). Forskellen er altså, om man beregner det velfærdsøkonomiske resultat eksklusiv eller inklusiv CO₂eq-priser. Er de inkluderet fås det samfundsøkonomiske overskud, men er de ekskluderet fås et udtryk for CO₂-reduktionsomkostningerne.

2.1.2 Sammenhæng med ”consequential LCA”

Den velfærdsøkonomiske konsekvensanalyse har klare paralleller til LCA-analysen, som har sit udgangspunkt i det fysiske stofstrømperspektiv. ISO14040-standarden (ISO, 2010) opstiller beregningsmetoder for forskellige omfang af LCA-analyser og anbefaler ”consequential LCA”-analysemetoden som det mest optimale i forhold til en mere snæver LCA der fokuserer på det enkelte produkts produktionsstrøm. Udgangspunktet for analysen er stadig den direkte produktionsstrøm for et produkt, som f.eks. biobrændstof, men man tager højde for at produktionen interagerer med det resterende samfund. Dette indebærer dels et konsekvensmæssigt perspektiv, hvor man inddrager en hidtidig eller alternativ situation i beregningerne, og dels indebærer det, at man opererer med en *systemudvidelse*, hvor biprodukters skæbne medindregnes.

Der er ingen fast måde at opgøre hvilken andel af produktionsenergi og emissioner der skal tillægges hovedproduktet (biobrændstof) og biproduktet. Et ultimativt synspunkt kunne være, at hovedproduktet skal tilskrives det hele, men det vil være ulogisk fordi biprodukterne ikke er affald men rent faktisk har en brugsværdi. To forholdsvis simple måder at fordele produktionsenergi og relaterede emissioner på hovedprodukt (biobrændstof) og biprodukt er, at fordele efter deres energiindhold eller deres markedspris. EMBIO-metoden, som bl.a. er beskrevet i Energistyrelsen (2003) og anvendt i studiet ”Beregningsmodellen for alternative drivmidler” af COWI for Energistyrelsen (COWI, 2007), anvender sidstnævnte tilgang, der betegnes *allokeringsprincippet*. Man trækker biprodukternes andel af produktionsfaktorerne fra, for at beregne resultatet for hovedproduktet. Herved opstår det problem, at man, set i et overordnet samfundsperspektiv, ikke får medregnet den reduktion eller forøgelse i energiforbrug og emissioner, som der opstår ved at biproduktet fortrænger et andet produkt på markedet. Dette tager *substitutionsprincippet* højde for. Man antager altså, at biproduktet fortrænger et tilsvarende produkt på markedet; det kunne være rapskage fra RME-produktionen der fortrænger sojaskrå som dyrefoder. Man antager således, at biproduktet har givet anledning til samme energiforbrug og emissioner som det substituerede produkt. Denne mængde trækkes fra den samlede energi og emission fra biobrændstoffets produktionsproces, og man har således bestemt hovedproduktets andel af energiforbrug og emissioner. Det omfattende europæiske well-to-wheel-studie udført for EU af konsortiet JRC-EUCAR-CONCAWE (JEC, 2007) anvender denne systemudvidelses- og substitueringsmetode.

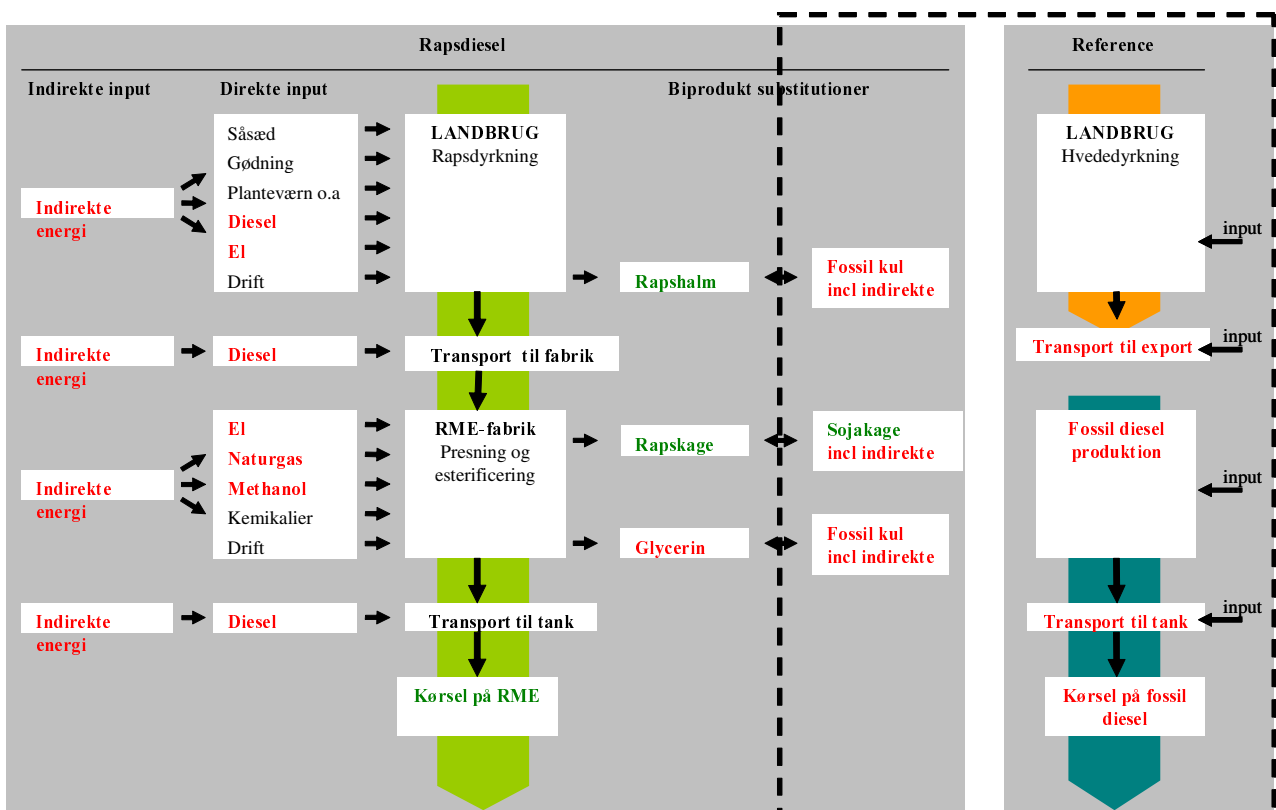
Resultatet er, at man får alle væsentlige faktorer som ændrer sig i samfundet med, som følge af den ny produktion, hvilket svarer til den velfærdsøkonomiske analysemetode. Her er fordelingen af energi og emissioner på hoved- og biprodukter dog uden betydning, idet de begge falder ind under konsekvenserne for det samlede samfund.

2.1.3 Forskel på energi- og økonomiberegning

Selvom analyserne af energi, emission og velfærdsøkonomisk konsekvens løber i tre parallelle spor, er der dog forskelle. Ud over at inddrage energiforbrug og emissioner, inddrager den velfærdsøkonomiske analyse også andre ressourcemæssige konsekvenser knyttet til investerings- og driftsmæssige forhold. Til gengæld omfatter de velfærdsøkonomiske gevinst- og omkostningsberegninger kun de emissioner, som det er lykket at værdisætte, hvilket gælder drivhusgasemissionerne CO₂, N₂O og CH₄, der er værdisat efter gældende CO₂-kvotepris, jf. Energistyrelsen (2009), der også præsenterer priser for NO_x og SO₂-emissioner.

2.1.4 Produktionssystemet

Figuren herunder skitserer systemet der analyseres med hensyn til RME som eksempel.



Figur 2.3 Skitse af RME-produktionssystemets flow over for referencescenariets flow (i stiplede boks).

Set fra venstre angives, at der går indirekte energi til at producere de direkte input angivet i næste kolonne. Den indirekte energi, også kaldet opstrømsenergi, er den energi der anvendes til at producere råvarer og direkte anvendt energi. Tredje kolonne viser RMEs produktions- og forbrugskæde. Kæden starter med landbrugsproduktionen af rapsfrø, som transporteres til konverteringsfabrikken, hvor olien presses ud af frøene og esterificeres, bl.a. ved tilsætning af metanol. RME'en transporteres herefter til depot og videre til tank, hvor den iblandes fossil diesel og forbrændes i motorkøretøjer.

Fjerde kolonne viser de tre biprodukter der kommer fra processen, rapshalm, rapskage og glycerin. Disse tre produkter antages at substituere hidtidige produkter på markedet, hhv. fossilt kul, sojakage og fossilt kul.

Yderst til højre vises referencescenariets produktionselementer, der dels består af en traditionel foderhvedeproduktion og dels en traditionel raffinering af fossil olie til diesel. Til disse produktionsprocesser er der også knyttet et hidtidigt direkte og indirekte inputforbrug, ligesom der også er output i form af hoved og biprodukter. Den stiplede boks antyder, at substitutionsprodukterne hører ind under referencescenariets antagelser, fordi de er del af de hidtidige forhold.

2.2 Afgrænsninger, forbehold o.a.

Analysen kan let blive meget omfattende, hvorfor det er nødvendigt dels at afgrænse analysefeltet og dels at prioritere væsentlige elementer frem for mindre betydende. I praksis, og ved nærmere analyse, vil det være omfattet af mange yderligere investeringer og omkostninger at realisere scenariosituationerne, da det vil medføre en del aktiviteter at kompensere for den ny situation. Eksempelvis kan nævnes følgevirkningerne af, at halm ikke længere i samme grad som før nedmuldes på markerne. Dette kan få betydning for kulstofpuljen og dermed kulstof/kvælstof-balancen i jorden, der har betydning for planternes kvælstofoptag. En kompenserende aktivitet kan være dyrkning af efterafgrøder der blot nedmuldes, eller øget gødning. Denne type afledte effekter og tiltag er der ikke er taget højde for i analyserne.

2.2.1 Fastfrossent referencescenarie

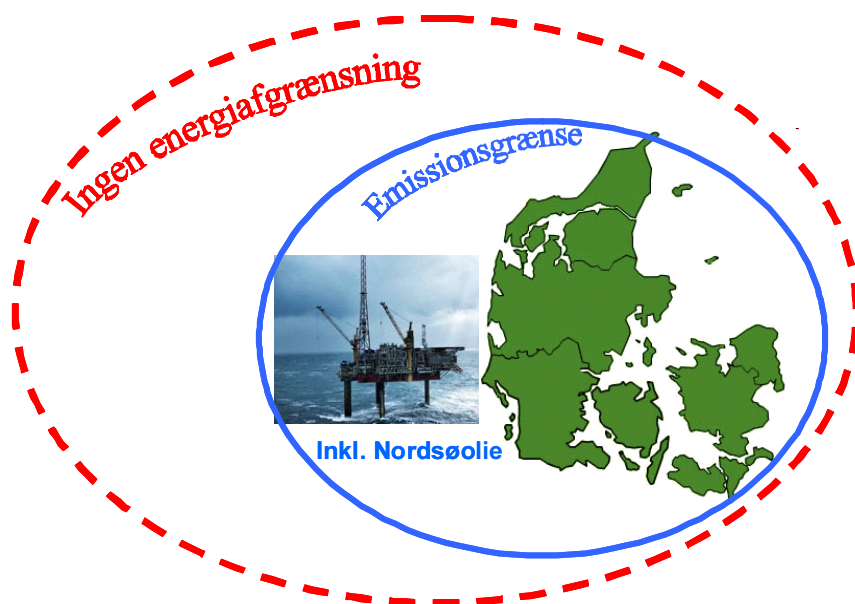
Det er grundlæggende antaget, at samfundet er i en balancesituation. Dvs. der er en grundlæggende antagelse om, at produktpriserne reflekterer produktionsforholdene, og at alle produkt-flow er i balance. Således antages også at landbrugsproduktionen er i balance, og den hvede og raps der produceres nu, har sin anvendelse enten til hjemligt formål eller til eksport. Denne situation fastfryses eller holdes konstant således, at når man skifter fra referencesituationen til scenariosituationen, antager man, at samfundet netop kun ændrer sig på de områder, man undersøger. Dvs. når man ophører med at producere en vis del fossilt brændstof, vil der blive mandskabsressourcer og produktionsfaciliteter til overs. Til gengæld skal der investeres i nye produktionsfaciliteter til biobrændstofferaffineringen, og der skal ansættes arbejdskraft etc. I praksis bliver det et ganske omfangsrigt regnestykke at tage alle elementer med som ændrer sig, og som i værste fald blot vil bidrage til at øge usikkerheden i beregningerne. Der henvises til Møller & Slentø (2010) for en detaljeret opstilling af beregningsforudsætningerne.

2.2.2 Opstrømsenergi og emissioner

Ud over den direkte energianvendelse i produktionen af bioafgrøden og konverteringen til biobrændstof, er det indirekte energiforbrug medtaget ved at producere forskelligt input, dvs. produkternes opstrømsenergi. Eksempelvis er den energi der er brugt på at producere gødning medregnet; det samme er den energi der er anvendt til at producere elektricitet, samt den energi der er anvendt til at producere kemikalier anvendt i konverteringsprocessen. De associerede emissioner er beregnet tilsvarende, dog betyder den geografiske Danmarksafgrænsning, at emissioner fra produkter produceret i udlandet ikke regnes med, hvilket f.eks. gælder kunstgødning.

2.2.3 Geografisk afgrænsning

Fokus for *emissionsberegningerne* er Danmarks grænser svarende til nationale opgørelser og indberetninger til internationale myndigheder. Dette betyder, at udenlandske emissionskonsekvenser af opstrømsenergiforbrug ved produktion af varer der indgår i produktionen (kunstgødning, importeret kul, kemikalier etc.) ikke medregnes, og således heller ikke en velfærdsøkonomisk værdi for disse emissioner. I princippet skulle emissionsændringer fra Nordsøolieproduktionen medregnes, da de indgår i de danske opgørelser, men det er udeladt, idet det antages, at produktionen fortsætter uafhængig af ændret hjemlig efterspørgsel på olie og relaterede produkter ved realisering af biobrændstofs scenarierne. Det faktum at udenlandske emissioner ikke er medregnet betyder, at man for det enkelte biobrændstof ikke får en beregning af dens generelle emissionskonsekvens. I stedet fås en specifik dansk emissionskonsekvens, hvilket er i tråd med, at analyseperspektivet ikke er det enkelte produkt, men de overordnede danske samfundsmæssige konsekvenser.



Figur 2.4 Skitse af den geografiske systemafgrænsning i analysen.

Som skitseret i figur 2.4, er den tilsvarende danske afgrænsning ikke gældende mht. energi; her er der ingen geografisk afgrænsning. Opstrømsenergiforbrug, dvs. produktionsenergi af input (som f.eks., kemikalier, råvarer, energi etc.) reflekteres implicit varens pris, hvorfor det også i konkrete energiopgørelser er rimeligt at medregne udenlandsk energiforbrug.

2.2.4 Produktionsenergi og samproduktion

Ud fra princippet om at fastlåse så mange eksterne faktorer som muligt, regnes al produktionsenergi som baseret på fossilt brændsel, lige som karbonindholdet i tilsætningsproduktet metanol ved RME-produktionen regnes som af fossilt herkomst. Naturligvis kan megen af produktionsenergien komme fra vedvarende energikilder og således ændre regnskabet for det fossile energiforbrug. Ligeledes kan der ved samproduktionsprocesser spares en del energi, typisk ved at man genanvender overskudsvarme fra kraftvarmeprocesser til konvertering af bioenergien. Imidlertid anlægges der en marginalbetragtning, hvor det implicit antages at samfundet er i en omstillingsproces fra fossil energi til 100 % ved-

varende energi. Såfremt man anvender vedvarende energi til biobrændstofproduktionen tages den bort fra et andet anvendelsesformål, hvor der så vil kræves fossilt brændstof som erstatning. Som en undtagelse stammer elektricitetens opstrømsenergi reelt fra en sammensætning af fossilt brændstof og en mindre andel vedvarende energi. Ved udregning af opstrømsmissioner fra elektricitet, er dette forhold tilgodeset ved at sætte den vedvarende energis emissioner til nul.

2.2.5 Elementer friholdt af energi- og værdiberegninger

Den organiske gødning der spredes på markerne repræsenterer en økonomisk værdi som reflekteres i besparelsen i tilført mængde kunstgødning. Afhængig af synsvinkel er gødningen også associeret opstrømsenergi. Det afhænger af om man ser gødningen som et nulværdi affaldsprodukt eller et værdifuldt biprodukt fra landbrugets kvæg- og svine drift. I dette studie betragtes gødningen som værende uden opstrømsenergi.

Samme forhold gør sig gældende mht. hvedehalmen, der i referencesituationen for 26 % vedkommende anvendes til kraftvarmebrændsel og for 42 % vedkommende nedmuldes, 20 % anvendes som foder og 12 % anvendes som strøelse, jf. Danmarks Statistik (2009). I referencesituationen regnes der hverken med den økonomiske værdi eller opstrømsenergiforbrug for den del af halmen der nedmuldes eller anvendes til foder og strøelse (i alt 74 %), mens den del der anvendes til forbrænding, er inkluderet beregningssystemets afgrænsning. I scenariosituationerne, hvor der anvendes 50 % halm til 2.G. ethanolproduktionen, tages de ud af puljen på 74 % - primært fra hvad der hidtidigt nedmuldes, hvilket således antages ikke at have energimæssige eller økonomiske konsekvenser. Halmen opfattes altså som gratis både økonomisk og energimæssigt. Derved er denne halms værdi som jordstrukturforbedrende og evt. bidrag til jordens kulstofpulje ikke medregnet. I praksis antages det, at samfundet indretter sig på den ny situation, ved at supplere med mere halm fra andre marker til foder og strøelse, samt undlade at nedmulde så meget halm på de enkelte marker. Dette kan igen medføre en række udfordringer mht. jordkvaliteten, hvor der måske kræves ekstra pløjning for at løsne jorden, og hvor der f.eks. kan tilføres N og P fra "bioasken" fra kraftværkers forbrænding af biomasse (jf. Gefion Planteavl, 2008). Efterafgrøder der helt eller delvis nedpløjes, kan evt. bidrage til at kompensere for dette problem. Det er et standende forskningstema, hvor stor betydning for opbygning af kulstofpuljer i jorden den nedmuldede halm har, og således også betydningen af at ophøre eller begrænse denne praksis til fordel for anvendelse af halmen i kraftværker.

2.2.6 Biprodukter som kraftværksbrændsel

Både hvad angår rapshalm, glycerin fra RME-produktionen og biomassetørstof fra 2.G.-produktionen antages det, at de problemfrit kan substituere kul i kraftværker. Reelt set er der tale om forbrændingsteknologier under udvikling, hvor man står overfor udfordringer med at kontrollere forbrændingsprocessen.

biobrændstof og dels i forhold til HS1- og HS2-scenariernes totale biobrændstofbehov.

2.2.10 Emissionspriser

Det er søgt at værdisætte emissioner fra produktionsprocessen og anvendelsen jf. Møller & Slentø (2010). Dette er sket for drivhusgasserne CO₂, CH₄ og N₂O, samt de forurenende stoffer SO₂ og NO_x, ud fra Energistyrelsens "Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet" (2009). Øvrige luftemissioner er ikke prissat. Udvaskningen af N er prissat efter de gennemsnitlige omkostninger ved at reducere N-udvaskningen i Danmark i perioden 2005 - 2009. Disse omkostninger er opgjort til 40 kr. per kg N, jf. Jacobsen et al. (2009). For uddybning se Møller & Slentø (2010). En pris for P(fosfor)-udvaskning har ikke været relevant, da den ikke antages at ændre sig i scenariesituationen i forhold til referencesituationen.

Prissætningen af drivhusgasserne er baseret på kvoteprisen for CO₂. Transportsektoren er imidlertid ikke inkluderet i de kvotebelagte sektorer og dermed kvotemarkedet (ETS Emission Trading Scheme), og man kan ikke umiddelbart forvente at den marginale CO₂-reduktionsomkostning i de ikke-kvotebelagte sektorer vil svare til CO₂-kvoteprisen. Imidlertid, som der argumenteres for i Møller & Slentø (2010), afsnit 3.1.2., vælges kvoteprisen som en tilnærmet værdiansættelse i de ikke-kvotebelagte sektorer.

2.3 65 \$- og 100 \$-scenarievarianter

Ved skifte fra 65 \$-oliepris-scenarievarianten til 100 \$-varianten, stiger olieprisen i beregningsmodellen, hvilket giver en afledt effekt på priserne for fossile brændstoffer som benzin og fossil diesel. Jf. appendiks 2, er der anslået et indbyrdes prisafhængighedsforhold imellem olieprisen og prisen på kul, naturgas, diesel, benzin og elektricitet ud fra Energistyrelsens (2009) oplysninger om forventede 2009-priser i deres publikation "Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet". Således beregnes disse øvrige brændstoffers pris ud fra prisen på olie, hhv. 65 \$ og 100 \$, jævnfør den anslåede fordelingsnøgle.

Øvrige priser justeres ikke, selv om man må forvente, at priserne på inputprodukter, som f.eks. kunstgødning og pesticider, også vil øges ved en øget oliepris, simpelthen fordi det øger produkternes fremstillingsomkostning. Til en vis grad udlignes dette ved at der både anvendes kunstgødning og pesticider i referencesituationen og scenariesituationen, om end ikke i samme mængder.

2.4 Illustrativ scenariefremskrivningsmetode

Scenariefremskrivningerne er simple og retter sig direkte efter modelleringen af transportomfangets udvikling (Frederiksen & Jensen, 2010), og deraf følgende brændstofbehov og emissionskonsekvenser (Winther & Plejdrup, 2010).

Hvad angår produktionsdelen af biobrændstofferne, er alle elementer holdt på et konstant 2008-niveau over årene, hvad enten det er energiforbrug, emissioner og priser. Det antages altså at produktionsteknologierne ikke udvikler sig effektivtets- og omkostningsmæssigt, hvilket naturligvis ikke er realistisk. Ikke desto mindre anses de som bedste valg i forhold de store usikkerheder antagelserne om udvikling vil byde på. I fremskrivningsprocessen betyder dette i praksis, at energiforbrugs-, emissions- og velfærdsøkonomiske konsekvenser per enhed biobrændstof i 2010 er ganget med det aktuelle fremskrivningsårs behov for biobrændstoffer. Således er priserne fastholdt i 2008-prisniveau, og ikke reguleret for inflation herefter. Dette betyder altså, at fremskrevne omkostninger eller fortjenester i 2030 fremstår i 2008-priser.

3 RME, år 2010

3.1 Gennemgang af RMEs vej fra mark til motor

I det følgende beskrives først de væsentligste aspekter ved RME-produktionen og derefter præsenteres beregningerne af de samfundsmæssige ændringer i energiforbrug, emissioner og velfærdsøkonomiske omkostninger ved at gå fra referencesituationen til HS1- og HS2-situationen i 2010, som i begge tilfælde fordrer 5,75 energiprocent biodiesel iblandt dieselmotors brændstof.

3.1.1 Landbrugsproduktion

RME produceres fra rapsplantens olieholdige frø. Et væsentligt aspekt ved raps er, at man kan udnytte rodens høje kvælstofindhold som forfrugtsværdi, hvilket betyder, at næste års afgrøde behøver mindre tilsætning af kvælstof og giver en højere ydelse. Raps dyrkes i praksis skiftende med korn i 4-5 års intervaller, for at undgå sygdomme der kan opstå ved flerårig dyrkning af raps på samme jord (Landscentret, 2008).

Rapshalmen er i traditionelt landbrug blevet skårlagt eller pløjet ned. Med den udvidede rapsproduktion er det en mulighed at udnytte halmen i biomassefyrede kraft- og varmeværker, hvilket antages at være tilfældet i scenariosituationerne.

I forhold til referencescenariet antages det, at landmanden må ophøre med foderhvededyrkning til fordel for rapsfrø. Antaget at den hidtil producerede foderhvede er gået til eksport, mistes denne valutaindtægt nu. Ligeledes, hvis der må importeres foderhvede for at kompensere for den mistede produktion, medfører det en øget valutaudgift.

Data for landbrugsproduktionen er baseret på Landscentrets budgetkalkuler (Landscentret, 2009) samt indhentede oplysninger fra forskellige konsulenter (se appendiks 6). Tabellen herunder opstiller de vigtigste antagelser i forbindelse med beregningerne.

Tabel 3.1 Specifikke antagelser og forudsætninger for RME-scenariet i forhold til referencetilstanden.

Referencetilstand	Scenarietilstand
Landbrug	Landbrug
Afgrøde: Vinterhvede (foderhvede)	Afgrøde: Vinterraps
Jordtyper: 70 % lerede jorde (JB5-6) og 30 % sandede jorde (JB1&3), heraf 15 % kunstvandede.	Jordtyper: 70 % lerede jorde (JB5-6) og 30 % sandede jorde (JB1&3), heraf 15 % kunstvandede.
26 % af hvedehalmen er hidtil anvendt til kraftvarme-produktion	100 % rapshalm anvendes til forbrænding og substituerer kul.
74 % af halmen anvendes som strøelse, foder eller nedmuldes, og friholdes af beregningerne.	
Fossilt brændstof; konvertering	Biobrændstof-konvertering
Raffinering af fossil råolie til diesel på dansk raffinaderi. Råolien antages at komme fra danske Nordsøfelter.	Der ophøres med at raffinere en mængde fossil diesel svarende til den producerede mængde biodiesel (energi-enheder). Rapsfrøpresningen og esterificeringsprocessen forløber som ved den eksisterende RME-fabrik Emmelev a/s Rapskage substituerer Soyaskrå efter foderværdi Glycerin finder anvendelse som brændstoftilsætning og substituerer kul efter brændværdi.
Transport af produkter	Transport af produkter
Der henvises til Appendiks 5 for en liste over antagelser om kørsel	Der henvises til Appendiks 5 for en liste over antagelser om kørsel

3.1.2 RME-konvertering

I raffinaderiet udskilles rapsolien fra frøene enten ved presning eller kemisk ekstraktion. Biproduktet rapskage har en god foderværdi med højt proteinindhold og afsættes til grovvareselskaber eller direkte til landmanden. Rapsolien gennemgår herefter en esterificeringsproces, hvor der tilsættes metanol og katalysatorer, således at der dannes rapsmethyl-ester (RME). Biproduktet fra denne proces er glycerin, der også har en handelsværdi, f.eks. i den farmaceutiske industri. Imidlertid anses markedet for mættet (JEC, 2007). Glycerinen kan også anvendes som brændsel, hvilket er antaget i indeværende analyse i overensstemmelse med Hedegaard Jensen et al. (2007a), der nævner at anvendelse i kraftværkers kraftværkskedler, eventuelt vil kræve specielle installationer.

Data for RME-konverteringen er baseret på oplysninger fra Emmelev Mølle (pers. komm.), der er det største RME-konverteringsanlæg i Danmark med en miljøgodkendelse på 100.000 tons RME. Data er vurderet i forhold til generelle fabrikationsfaktorer på dette område (JEC, 2007b).

Tabellen ovenfor angiver specifikke antagelser. Mht. biproduktet glycerin, regnes dets indhold af karbon af fossil herkomst og således ikke CO₂-neutralt. Årsagen er, at der i esterificeringsprocessen tilsættes ca. 10 % metanol af fossil herkomst. Herved kommer RME til at bestå af ca. 10 % fossilt karbon og 90 % CO₂-neutral karbon, hvilket komplicerer efterfølgende beregninger. I stedet kan man antage at de ca. 10 % glycerin der kommer som biprodukt, og som har samme kulstofindhold som metanol, har overtaget dennes fossile karbonmolekyler, og derfor ikke er at regne som CO₂-neutralt. Derved kan man antage at RME'en er 100 % CO₂-neutral.

3.1.3 Nedsat fossil diesel raffinering

RME'en erstatter fossil diesel. Dieselolie anvendt i Danmark er i høj grad produceret på danske raffinaderier. Det antages at raffineringsmængden

derfor nedsættes svarende til RME'ens mængde, justeret for forskellig energieffektivitet. Derved spares produktionsenergi og relaterede emissioner. Det kunne også være en antagelse, at raffineringen fortsatte og overskudsproduktionen i stedet blev eksporteret, men denne er altså ikke valgt. Under alle omstændigheder opnås en velfærdsøkonomisk gevinst svarende til værdien af det reducerede forbrug af fossil diesel. Nordsøolien, der vurderes til at være kilden til den danske dieselproduktion, antages derimod at blive produceret i uændret mængde, hvorfor der ikke sker en ændring i produktionsenergi og emissioner herfra, ved at skifte fra referencetilstanden til scenarietilstandene.

3.1.4 Transport

Ved omstilling fra referencesituationen til scenariesituationen opstår der en del transportforskydninger mht. råvarer, mellemprodukter og færdige produkter. Betydningen viser sig ofte at være marginal, men er dog medtaget i regnskaberne for fuldstændighedens skyld, og med meget grove antagelser om lastvognstype, lasteevne og distance, og hvor referencetilstanden ofte ophæver scenarietilstanden og derved giver et uændret transportomfang.

3.1.5 Depot og tankstation

Det antages at tankstationens energimæssige og økonomiske omkostninger er uændret imellem reference- og scenariosituationen. Der vil naturligvis kræves ekstra lager og lignende. Ligeledes er der specielle krav til opvarmning af dieselen og der kræves energi til selve sammenblandingsprocessen. Disse omkostninger anses som marginale som der ses bort fra i dette projekt.

3.1.6 Kørselsforbrænding

De økonomiske-, energi- og emissionsmæssige forhold antages at være uændrede imellem referencesituation og scenariesituation, hvad angår investeringer og vedligeholdelse af køretøjer. Der ses kun på de direkte forbrændingsrelaterede forhold, og demarginale ændringer medregnes i energiforbruget, idet biobrændstoffer ikke helt har den samme virkningsgrad som fossile brændstoffer. Ligeledes beregnes emissionsændringerne som en konsekvens heraf. Der henvises til Winther & Plejdrup (2010) for detaljerede data og beregninger. Emissionsændringernes velfærdsøkonomiske konsekvens medregnes også, for de stoffer hvor en prissætning har været mulig.

3.1.7 Øvrige konsekvenser

Igennem hele produktions- og distributionsprocessen er der en række andre konsekvenser af den forudsatte omallokering af samfundets knappe ressourcer, men disse konsekvenser anses for at være af marginal betydning og vil derfor indgå i den generelle usikkerhed der knytter sig til tallene.

3.2 Resultater for år 2010

I de følgende afsnit præsenteres resultaterne af scenarieberegningerne for år 2010 for HS1 og HS2 i både 65 \$- og 100 \$-varianterne. Da iblandingsprocenten 5,75 % er ens for både HS1 og HS2 i 2010, adskiller de sig ikke fra hinanden. Resultaterne vises per kg RME.

Fokus i dette studie ligger som nævnt på det danske samfunds tab og gevinster ved at producere biobrændstoffer, mht. energi, emissioner og velfærd, dvs. ændringerne fra referencesituationen til scenariesituationen. Først vises dog den snævre energibalance for RME-produktionen.

3.2.1 Snæver energibalance, RME

I tabel 3.2 vises en snæver energibalance ved at producere RME, jf. Møller & Slentø (2010). Dette er altså ikke et ændringsregnskab i forhold til referencesituationen, men en regulær input-outputberegning for scenariesituationerne HS1 og HS2 - der som nævnt er ens i år 2010.

Tabel 3.2 Snæver energibalance RME 2010 for HS1 og HS2 i 65\$- og 100\$-varianterne.

	Energiindhold (MJ pr kg RME)	Energiforbrug (MJ pr kg RME)
Produkter		
RME	37,60	
Direkte og indirekte energiforbrug		
Rapsproduktion		7,51
Transport af raps til RME produktionsanlægget		0,07
RME konvertering		7,17
Transport af RME til tankstationer		0,03
Sum		14,79
Biprodukters indirekte energiforbrug		
Rapshalm, Rapskage & Glycerin		-8,22
I alt RME	37,60	6,57
WTT-forbrugsfaktor (input MJ / output MJ)		17 %

Balancen angiver meget simpelt hvad der kræves i fossilt energiinput for at producere 1 kg RME. Da der opstår energiholdige biprodukter i processen (halm, rapskage og glycerin) skal energiforbruget til at producere deres andel trækkes fra. Dette gøres ud fra substitutionsprincippet, hvor der ses på hvad det koster i energi at producere det produkt som biproduktet erstatter på markedet. Som det fremgår af tabellen har 1 kg RME et energiindhold på 37,6 MJ. Der anvendes 14,79 MJ fossil energi til at producere denne mængde RME, hvor biprodukterne halm, rapskage og glycerin samtidigt produceres. Disse biprodukter substituerer hhv. kul, sojaskrå og kul, og tilskrives således deres produktionsenergi på i alt 8,22 MJ. Herved bliver der et energiforbrug på 6,57 MJ til rest som allokeres på hovedproduktet RME. Dette giver en Well-to-Tank-energiforbrugsfaktor på 17 %, som er beregnet som nettoenergiforbruget divideret med energioutput.

3.2.2 Samfundsmæssig energibalance

I dette afsnit vises resultaterne af den brede tilgang til beregning af energikonsekvenserne, hvor man fokuserer på ændringerne i energiforbrug fra referencetilstanden til scenarietilstanden.

Tabel 3.3 viser regnskab for REM mht. samfundets ændringer i energiforbrug i de to hovedscenarier HS1 og HS2 i hhv. 65 \$- og 100 \$-varianterne. Energibalancen er ens i begge varianter, idet der ikke antages produktionsmæssige effekter af ændret oliepris.

Tabel 3.3. Samfundsmæssige ændringer i energiforbrug, 2010, for HS1 og HS2 i 65 \$- & 100 \$-varianterne.

	Energiforbrug (MJ pr. kg RME)
Landbrugsproduktion	-1,38
Biprodukt: Mistet hvedehalm substitueres af kul	1,21
Biprodukt: Vundet rapshalm substituerer kul	-3,16
Transport an fabrik	-0,05
RME-konvertering	7,17
Biprodukt: Rapskage substituerer sojaskrå	-4,86
Biprodukt: glycerin (fossil C) substituerer kul	-0,20
Fossil diesel produktion	-2,84
Transport af fabrik	0,01
Kørselsforbrænding	-1,76
I alt	-5,85 MJ pr. kg RME

Der opstår en energiforbrugsreduktion på -5,85 MJ per kg RME ved at realisere scenarierne i år 2010. Energibesparelserne opstår dels ved at opgive fossil dieselproduktion og dels ved at fratække det produktionsenergiforbrug som de substituerede produkter, sojaskrå og kul, har givet anledning til. Også i selve kørselsforbrændingen spares der energi, idet RME har en bedre virkningsgrad end fossil diesel.

I landbruget opstår der besparelser ved at opgive hvedeproduktionen til fordel for rapsproduktion. Dette skyldes især nedsat maskinarbejde i marken og ændret halmudnyttelse.

I referencesituationen er antaget at kun 26 % af hvedehalmen udnyttes til kraftværksforbrænding, mens det i scenariesituationen er antaget at 100 % rapshalm udnyttes i kraftværksforbrænding. Dette betyder, at der undgås produktionsenergi af hidtil anvendt kul ved substitution med rapshalm.

Energiforbrugskonsekvensen er sammensat at både fossil energi og biomasse. I tabel 3.4 fokuseres der på den fossile del af energien.

Tabel 3.4 Ændringer i fossil energiforbrug i scenariesituationen forhold til referencesituationen.

MJ pr. kg RME	Reference	Scenario	Konsekvens	
Ændring i fossilt energiforbrug i forhold til samlet referencesituation	96,2	32,0	-64,2	-67 %

Det samlede fossile energiforbrug i referencesituationen opstår fra produktionen af den fossile diesel, forbrændingen heraf og fra den hidtidige

landbrugsproduktion. Reduktionen i fossilt energiforbrug i forhold hertil, er på 67 %.

3.2.3 Samfundsmæssig emissionsbalance

De samfundsmæssige emissionskonsekvenser er afgrænset til emissioner opstået inden for Danmarks grænser, svarende til hvad Danmark rapporterer til internationale myndigheder (FN og EU).

Tabel 3.5 viser det emissionsmæssige konsekvensregnskab for RME for både HS1- og HS2-scenarierne i 65 \$- og 100 \$-varianterne.

Tabel 3.5 Luftemissionsændringer vedr. RME-produktion og forbrænding, 2010, HS1 og HS2 i både 65 \$- og 100 \$-varianterne.

g pr. kg RME	Drivhusgasser				Miljø og helbredsskadelige stoffer					
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq	NO _x	SO ₂	NMVOC	CO	NH ₃	PMtsp
Landbrugsproduktion	-39	0	0	13	0	0	0	0	0	0
Biprodukt: Mistet hvedehalm substitueres af kul	1223	0	0	1221	0	0	0	-1	0	0
Biprodukt: Vundet rapshalm substituerer kul	-3192	0	0	-3186	1	0	0	2	0	0
Transport an fabrik	-4	0	0	-4	0	0	0	0	0	0
RME-konvertering	174	0	0	173	0	0	1	0	0	0
Biprodukt: Rapskage substituerer sojaskrå	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biprodukt: glycerin (fossil C) substituerer kul	-11	0	0	-10	0	0	0	0	0	0
Fossil diesel produktion	-137	0	0	-145	0	0	0	0	0	0
Transport af fabrik	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Kørselsforbrænding	-2913	0	0	-2915	2	0	0	0	0	0
I alt	-4898	0	0	-4852	2	0	1	1	0	-1

Negative tal angiver emissionsreduktioner, mens positive tal angiver emissionsstigninger. Det ses at omstilling til RME vil medføre et fald i CO₂-ækvivalentemissioner (CO₂eq) på 4,85 kg per kg RME, først og fremmest forårsaget af CO₂ selv. CH₄ reduceres en smule, mens N₂O stiger en smule, men begge under 1 gram per kg RME. Ydermere sker der marginale reduktioner for SO₂ og PMtsp, mens emissionerne for NO_x, NMVOC, CO og NH₃ øges.

Ændringerne i emissionerne, andre end CO₂, er marginale i forhold til Danmarks samlede emissioner.

Faldet i drivhusgasemissioner for landbruget skyldes, at al rapshalmen udnyttes til kraftværksforbrænding, mens det kun er 26 % hvedehalm i referencesituationen. Dette øgede biomasseforbrug sænker tilsvarende forbruget af fossilt kul i kraftværkerne og dermed CO₂-emissionerne, idet biomassens emissioner regnes for CO₂-neutrale og dermed sættes til nul. Andre emissioner fra forbrænding af halm øges dog. Dette gælder både NO_x, SO₂ og Partikler (PMtsp).

Billedet går igen ved kørselsforbrændingen, hvor CO₂-emissioner falder fordi RME'ens CO₂-emissioner regnes CO₂-neutrale. Derimod øges NO_x som følge af en ændret forbrænding. Kørselsforbrændingens emissioner er beregnet ud fra den aktuelle iblanding på 5,75 % RME i forhold til fossil diesel, jf. Winther & Plejdrup (2010).

Rapskage bidrager ikke til balancen. Dette skyldes, at rapskage substituerer sojaskrå som er udenlandsk produceret, hvorved emissionerne herfra ikke regnes som danske. Ændringerne forårsaget af biproduktet glycerin er minimalt, og reflekterer udelukkende usikkerhed i emissionsfaktorer for glycerin i forhold til substitutionsproduktet kuls emissionsfaktorer.

3.2.4 CO₂eq-emissioner specifikt

Tabel 3.6 viser ændringerne i CO₂eq-emissioner i forhold til den samlede referencesituation. En stor del af CO₂eq-emissionerne stammer fra fossilt energiforbrug, mens CO₂-emissioner fra biomasse er sat til nul da det regnes som CO₂-neutralt. Inkluderet i CO₂eq-emissionerne er også CH₄ og N₂O.

Tabel 3.6 Ændringer i CO₂eq-emissioner i referencesituationen i forhold til referencesituationen.

g pr. kg RME	Reference	Scenario	Konsekvens	
Ændring i CO ₂ -emissioner i forhold til samlet referencesituation	7473	2621	-4852	-65 %

Ændringerne i forhold til de samlede CO₂eq-emissioner svarer til, hvad der er angivet i forrige tabel, idet der ikke ingen af stederne er inkluderet CO₂-neutrale emissioner. Dette giver en CO₂eq-reduktion på 65 % i forhold til den valgte referencesituation.

Procenttallet er et udtryk for CO₂-fortrængning, men det er ikke direkte sammenligneligt med andre beregningsmetoder som f.eks. opstillet i Bekendtgørelse om biobrændstoffers bæredygtighed (Klima- og Energiministeriet, 2009), hvorfor det ud over at angive proportionerne, først og fremmest er anvendeligt i projektets interne sammenligninger. Man skal således være opmærksom på, at ændringsprocenterne reflekterer den givne reference, man relaterer ændringerne til, som især med hensyn til landbrugsdelen af WTW-analysekæden er meget afhængig af de konkrete antagelser der er gjort, og hvad der er medinddraget i beregningerne.

3.2.5 N- og P-udvaskning

Fra landbrugsjorden udvaskes der N (kvælstof) og P (fosfor), og ved skifte fra vinterhvede til vinterraps sker der en ændring. Ændringen i N går fra 65 til 77 kg N per ha (jf. Larsen et al., 2010), hvilket i tabellen nedenfor er omregnet til g per kg RME. P-udvaskningen ændrer sig også, men udvaskningstallene er små og usikre, hvorfor ændringen er sat til nul.

Tabel 3.7 N- og P-udvaskningskonsekvenser ved RME produktion for HS1 og HS2 i 65\$- og 100\$-varianten, 2010.

g pr. kg RME	N	P
I alt	9	0

N-udvaskningerne er værdisat og medindregnet i de velfærdsøkonomiske konsekvenser.

3.2.6 Velfærdsøkonomiske konsekvenser

Følgende tabel viser de velfærdsøkonomiske konsekvenser ved produktion af RME i forhold til referencesituationen. I beregningerne indgår både ændringer i ressourceforbrug og i relaterede emissioner, hvad angår CO₂eq, NO_x, SO₂ og N-udvaskning.

Tabel 3.8 RME, velfærdsøkonomiske konsekvenser, 2010.

Kr. pr. kg RME	65 \$	100 \$
	HS1 og HS2	HS1 og HS2
Landbrug	-8,09	-8,05
- Mistet hvedehalm substitueres af kul	-0,42	-0,42
- Vundet rapshalm substituerer kul	1,11	1,11
Transport an fabrik	0,07	0,07
RME-konvertering	-1,05	-1,12
- Rapskage substituerer sojaskrå	2,37	2,37
- glycerin (fossil C) substituerer kul	0,04	0,07
Fossil diesel; reduceret forbrug	4,12	6,29
Transport af fabrik	-0,01	-0,01
Kørselsforbrænding	0,19	0,19
i alt kr. pr. kg RME	-1,67	0,49

Af tabellens første kolonne som viser 65 \$-varianterne af HS1 og HS2, fremgår det, at det er forbundet med et *tab* for samfundet at omstille fra fossil diesel til biodiesel på 1,67 kr. per kg RME. Årsagen til tabet findes først og fremmest i landbruget der er præget af den mistede hvedekernerproduktion til fordel for rapsfrø, hvilket i sidste ende betyder et valutatab for Danmark (mistet eksport eller øget import af hvede).

Tabellens anden kolonne viser resultatet af 100 \$-scenariet, og her fremgår det, at der er en *gevinst* ved omstillingen til HS1- eller HS2-scenarierne på 0,49 kr. per kg RME. Denne forskel til 65\$-scenarierne skyldes, at der spares mere ved den undgåede fossile dieselproduktion i 100 \$-scenarierne – netop som følge af de højere oliepriser.

Fælles for scenarievarianterne er, at biprodukterne bidrager positivt til balancen idet de substituerer andre produkter på markedet hvis importomkostninger derved spares.

3.2.7 CO₂-reduktionsomkostning

CO₂-reduktionsomkostningen beregnes som den velfærdsøkonomiske omkostning per CO₂-reduktion. CO₂eq-reduktionen 4,85 kg per kg RME i både 65 \$- og 100 \$-varianterne, mens den velfærdsøkonomiske konsekvens for hhv. 65 \$- og 100 \$-varianterne er -1,67 kr. per kg RME og 0,49 kr. per kg RME, jf. ovenstående tabeller. De velfærdsøkonomiske resultater skal dog fratrækkes den indregnede værdi af CO₂eq-emissionsreduktioner og forøgelser, når reduktionsomkostningerne beregnes, for ikke at regne dobbelt. Der opnås en velfærdsøkonomisk omkostning på 366 kr. per ton reduceret CO₂ i 65 \$-scenariet, mens der i 100 \$-scenariet er en negativ omkostning, dvs. gevinst, på 165 kr. per ton CO₂, jf. tabellen herunder.

Tabel 3.9 CO₂-reduktionsomkostning ved at realisere HS1 og HS2 i 2010.

		65\$-varianter	100\$-varianter
Velfærdsøkonomisk konsekvens	Kr. pr. kg RME	-1,67	0,49
Velfærdsøkonomisk konsekvens, ekskl. værdi af CO ₂ eq-emissioner	Kr. pr. kg RME	-1,78	0,39
CO ₂ eq-reduktion	G pr. kg RME	-4852	-4852
CO ₂ -reduktionsomkostning	Kr. pr. ton CO ₂	366	- 79

Med negative reduktionsomkostninger, altså gevinster, kan CO₂-emissionsreduktionerne altid betale sig. Med positive reduktionsomkostninger kan man sammenligne med andre metoder til at reducere emissioner på, jf. kapitel 5.

3.3 Opsummering og diskussion om RME

Gennemgangen i dette kapitel har berørt RME i HS1- og HS2-scenarie-situationerne i 2010 for 65 \$- og 100 \$-varianterne.

Der er beregnet en CO₂-fortrængning på hhv. 65 % i forhold til referencituationens samlede CO₂eq-emissioner. Resultatet kan kun med forsigtighed sammenlignes med andre studiers resultater. Især skal man være opmærksom på, hvorledes landbrugsproduktionen er inddraget i udregningerne.

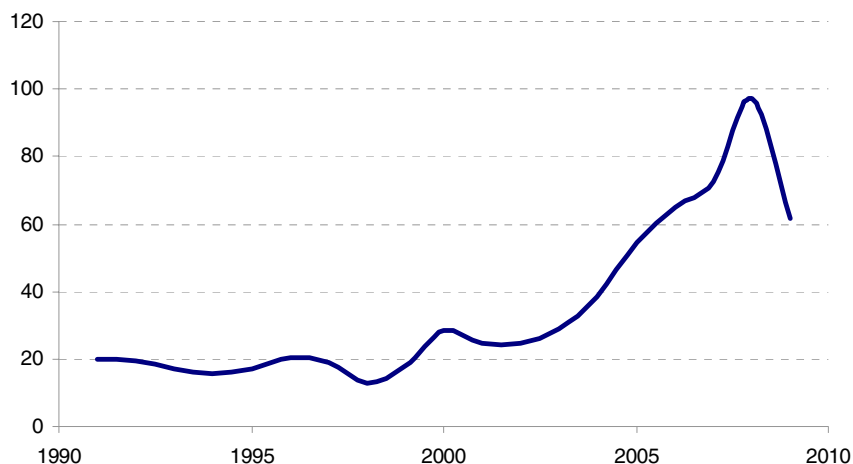
Udregningen af den velfærdsøkonomiske reduktionsomkostning per ton CO₂ giver resultaterne 366 kr. per ton CO₂ og minus -79 kr. per ton CO₂ for hhv. 65 \$- og 100 \$-scenarievarianterne. I sidstnævnte tilfælde med negativ omkostning, betyder det altså, at der er en velfærdsøkonomisk gevinst i reduktionen.

I det følgende uddybes tre afgørende faktorer for RME's energimæssige og velfærdsøkonomiske balance.

3.3.1 Olieprisens indflydelse

Som det fremgår af de to scenarievarianter, 65 \$ og 100 \$, er de velfærdsøkonomiske resultater følsomme over for fossil energis priser, dvs. olie, kul, diesel og benzin. Olieprisen passerede for første gang 100 \$ per tønde i starten af 2008 og toppede kortvarigt med omkring 140 \$. Som følge af den verdensomspændende økonomiske krise er prisen derefter faldet og ligger i begyndelsen af 2010 på omkring 40-50 \$ per tønde. Se Figur 3.1.

\$ pr. tønde olie (Brent)



Figur 3.1 Olieprisens gennemsnitlige udvikling fra år til år, 1991 til 2009 (Brent spotmarkedsindeks). Kilde: Energistyrelsen, 2010.

Med den fortsatte udtømmning af fossile energikilder over en længere årrække, må olieprisen forventes at følge den mere langsigtede stigende trend og ligge på mindst 100 \$. Den velfærdsøkonomiske analyse viser, at det vil være en gevinst for samfundet at producere RME til kørselsformål.

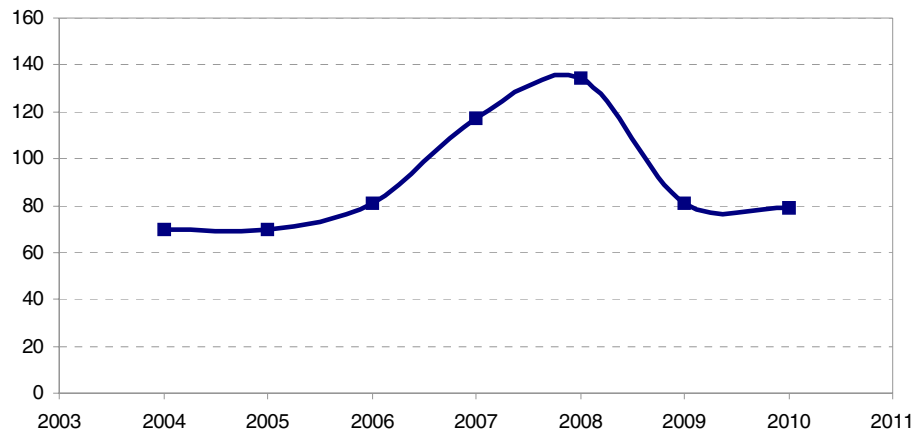
3.3.2 Halmproduktion

En meget væsentlig usikkerhedsfaktor i beregningerne er valget af antagelser om halmproduktionen i referencescenariet i forhold til scenarietilstandene. I referencetilstanden er det søgt at reflektere den aktuelle situation, nemlig at landmanden i gennemsnit sælger 26 % halm til kraftværksforbrænding, 32 % går til foder og strøelse, mens 42 % nedmuldes. De 74 % som ikke går til forbrænding, antages at være ledige ressourcer, og er derfor ikke værdisat. Til gengæld regnes 100 % af rapshalmen i scenarietilstanden med at have værdi og blive anvendt til kraftværksforbrænding. Disse antagelser har en gunstig betydning for energibalancerne og de velfærdsøkonomiske resultater. I kapitel 6 undersøger følsomhedsanalysen "75 % halmbrændsel"; en antagelse om at i referencesituationen anvendes der 75 % halm til kraftværksbrændsel, hvilken derfor også er værdisat.

3.3.3 Hvedekernerpris

Hvedekerners markedspris har en stor indflydelse på de velfærdsøkonomiske resultater og er stort set alene om at bestemme de økonomiske konsekvenser i landbrugsproduktionen, når der ses bort fra halmens betydning. Figur 3.2 viser foderhvedens prisudvikling fra 2004 til 2010.

Foderhvede købspris Københavns Kornbørs
kr pr 100 kg



Figur 3.2 Foderhvedes købspriser på Københavns Kornnotering, 2004 -2010 (primo), beregnet som årgennemsnit. (DAKOFO, 2010).

Kornprisen der er anvendt i beregningerne, følger Landscentres budgetkalkule (2009) på 114,5 kr. per 100 kg. I slutningen af 2009 var den faktiske pris 50 % under dette niveau, som det fremgår af figur 3.2 ovenfor. En lav pris vil være gunstigt for den velfærdsøkonomiske balance, idet der således mistes mindre ved at omstille til raps, hvilket vil resultere i, at det allerede i 65 \$-scenarievarianten vil kunne betale sig at producere og køre på RME. Kapitel 6 undersøger en følsomhedsanalyse "Hvedekernepris 35 % lavere" dette forhold.

4 Bioethanol, år 2010

4.1 Bioethanols produktionsproces

I de følgende sektioner gennemgås kortfattet procestrinnene i produktionen af bioethanol af 1. og 2. generation. 1. generation henviser til en velafprøvet teknologi for ethanol fremstilling, nemlig gæring af kulhydratholdig biomasse, som fås ved spritfremstilling fra kartofler eller øl fra malt. 2. generation henviser i princippet til samme gæringsproces, men med en forudgående tilgængeliggørelse af kulhydrater bundet i biomassens fiberstrukturer, dvs. en nedbrydning af plantedelens lignocellulosestrukturer.

4.1.1 Landbrugsproduktion

Hvedeethanol af 1. generationstypen produceres i HS1 og HS2 fra hvedekerner. Det antages at denne anvendelse medfører behov for import af anden foderhvede til dyrefoder, i den grad den nuværende overskudsproduktion ikke rækker (2003-2009 er der netto eksporteret foderhvede). Det antages endvidere, at den nuværende udnyttelse af hvedehalm på 26 % til kraft- og varmegærker ikke ændres; resten går således også uændret til strøelse, foder og nedmuldning.

Hvad angår 2.G.-bioethanol, produceres den i de aktuelle scenarier fra hvedehalm, og vedrører således et biprodukt i landbrugsproduktionen. Det antages, at der kan anvendes 50 % af hvedehalmen fra en hvedemark til 2.G.-ethanolproduktion. 26 % af halmen antages som hidtil at blive anvendt i kraftværker, mens de resterende 24 % antages at gå til primært foder og strøelse, men også nedmuldning. Såfremt landmanden kommer til at mangle foder og strøelse, antages det kompenseret fra andre marker i bedriften.

I praksis vil 1.- og 2.-generationsprocesserne naturligvis kunne spille sammen og halmen der antages nedmuldet ved 1.G.-ethanolproduktionen, vil kunne anvendes i 2.G.-ethanolproduktionen. Det samme overlap gælder for hvedekernerne. Imidlertid holdes de to teknologier adskilt i denne grundlæggende analyse.

Data for landbrugsproduktionen er baseret på Landscentrets budgetkalkuler (Landscentret, 2009), samt indhentede oplysninger fra forskellige kilder (se Appendiks 6).

4.1.2 Raffinering

Hvedekerner raffineres forholdsvis simpelt til ethanol i 1.G.-processen. Der er tale om en gæringsproces af sukker og stivelseholdige stoffer, som giver en "øl" hvorfra ethanolen kan destilleres. Overskudsproduktet er proteinholdigt DDSG (Distillers Dried Grains with Solubles) der kan anvendes som foder, og antages at substituere importeret sojaskrå vægtet i forhold til foderværdi.

Omdannelsen af hvedehalm til ethanol i 2.G.-processen er mere kompliceret. Det er en vanskelig proces at nedbryde halm og anden biomasse på en energieffektiv måde, f.eks. træ der indeholder svært tilgængelige lignocellulose-strukturer. Der har været og er høje forventninger til 2.G.-teknologiens udvikling. Som sådan er teknologierne på plads; udfordringen er at udvikle energi og omkostningseffektive produktionsmetoder. I Danmark har man været fokuseret på den såkaldte IBUS teknologi, som står for Integrated Biomass Utilization System. Den går ud på at integrere produktionen med kraftvarmeproduktion, for at udnytte overskudsvarme herfra optimalt. DONG Energy åbnede i november 2009 et storskala-bioethanolraffinaderi, Inbicon, til produktion af 2.G.-ethanol i Kalundborg.

Ifølge Teknologirådet (2009a) er der to nye 1.G.-bioethanolanlæg på vej, et i Tønder og et i Grenå med drift fra 2012.

Data for 1.G.-konverteringsprocessen er baseret på JEC (2007b). Data for 2.G.-konverteringsprocessen er baseret på Hedegaard Jensen & Thyø (2007).

4.1.3 Transport imellem procesleddene

I beregningsmodellen er transporten fra landmand til konverteringsanlæg samt fra anlæg til depot og videre til tankstation inkluderet. Hertil skal indregnes transport af øvrige input- og outputprodukter, dels i det undersøgte scenarie og dels i referencetilstanden. Det er dog vanskeligt at estimere alle nuværende og kommende transporter på et niveau ud over grove antagelser (se appendiks 5). Erfaring fra dette og andre studier er, at nettotransportbidraget er marginalt i forhold til energiforbrug, emissioner og økonomiske omkostninger ved landbrugs- og konverteringsprocessen samt ved selve kørselsforbrændingen.

4.1.4 Deponi og tankstation

Det antages at tankstationens energimæssige og økonomiske omkostninger er uændret imellem reference og scenariosituation. Der vil naturligvis kræves ekstra lager og lignende. Ligeledes kræves energi til selve sammenblandingprocessen. Disse omkostninger anses som marginale og er udeladt i dette projekt.

4.1.5 Kørselsforbrænding

Som nævnt under RME, antages de økonomiske forhold omkring selve kørselsdelen med ethanoliblanding at være uændret i scenariosituationerne i forhold til referencen, således antages det at der ikke sker produktionsenergimæssige eller økonomiske ændringer mht. køretøjsteknologien. Derimod medregnes marginale ændringer i energiforbruget, idet biobrændstoffer ikke har helt den samme virkningsgrad som fossile brændstoffer, hvilket giver emissionsmæssige konsekvenser (Winther & Plejdrup, 2010).

4.1.6 Øvrige konsekvenser

Igennem hele produktions- og distributionsprocessen er der andre konsekvenser som vil gøre sig gældende, men de anses af marginal betyd-

ning, og vil derfor være omfattet den generelle usikkerhed der knytter sig til resultaterne.

4.2 Første generation bioethanol, resultater og diskussion

Tabellen herunder viser specifikke antagelser og forudsætninger vedrørende 1.G.-hvedeethanol.

Tabel 4.1 Specifikke antagelser og forudsætninger ved 1.G.-hvede-ethanolproduktion.

Referencetilstand	Scenarietilstand
Landbrug	Landbrug
Afgrøde: Vinterhvede (foderhvede).	Afgrøde: Vinterhvede (foderhvede).
Jordtyper: 70 % lerede jorde (JB5-6) og 30 % sandede jorde (JB1&3), heraf 15% kunstvandede.	Jordtyper: 70 % lerede jorde (JB5-6) og 30 % sandede jorde (JB1&3), heraf 15 % kunstvandede.
26 % af hvedehalmen anvendes til kraftvarmeproduktion	26 % af hvedehalmen anvendes til kraftvarmeproduktion.
74 % af halmen anvendes som strøelse, foder eller nedmuldes, og friholdes af beregningerne.	74 % af halmen anvendes som strøelse, foder eller nedmuldes, og friholdes af beregningerne.
Fossil brændstof konvertering	Ethanol-konvertering
Raffinering af fossil råolie til benzin sker på dansk raffinaderi, hvorfor både produktionsenergi og produktions-emissioner indregnes.	Der ophøres med at raffinere en mængde fossil benzin svarende til den producerede mængde bioethanol.
	Biproduktet DDGS substituerer Sojaskrå efter foderværdi.
Transport af produkter	Transport af produkter
Der henvises til Appendiks 5 for en liste over antagelser om kørsel	Der henvises til Appendiks 5 for en liste over antagelser om kørsel

I det følgende vises resultaterne af beregningerne for 1.G.-bioethanol. Beregningsmetoden følger Møller & Slentø (2010) og der henvises til appendiks for detaljerede datagrundlag.

4.2.1 Snæver energibalace 1. G. bioethanol

Tabel 4.2 angiver den snævre energibalace ved at producere 1.G.-ethanol.

Tabel 4.2. Snæver energibalance, 1.G.-hvedeethanol

Produkt	Energiindhold (MJ pr. kg bioethanol)	Energiforbrug (MJ pr. kg bioethanol)
Bioethanol	26,70	
Direkte og indirekte energiforbrug		
Hvedeproduktion		5,29
Transport af hvedekorn til bioethanol produktionsanlægget		0,10
Bioethanol konvertering		14,61
Transport af bioethanol til tankstationer		0,03
Sum		20,03
Biprodukters indirekte energiforbrug		
DDGS		-3,16
Hvedehalm (forbrændingsandel)		-0,71
I alt bioethanol	26,70	16,16
WTT-forbrugsfaktor (input MJ / output MJ)		61 %

Tabel 4.2 viser at for at producere 26,7 MJ hvedeethanol anvendes 16,16 MJ fossile brændstoffer, hvilket giver en well-to-tank-energiforbrugsfaktor på 61 %. Heri er fraregnet DDGS-andel af energiforbruget som er bestemt ved sojaskrås produktionsenergiforbrug, som det substituerer. Ligeledes er fraregnet halms andel beregnet ved kuls produktionsenergiforbrug. Kun halm der anvendes til kraftværksforbrænding er medregnet (26 % af det samlede halmudbytte). Den snævre energibalance beregner altså det virksomhedsnære energiforbrug i landbruget og på fabrikken, hvorimod det energiforbrug eller den energigevinst som samfundet opnår ved at forlade hidtidige produktioner af andre landbrugsprodukter og fossilt brændstof, ikke medregnes. Dette tages der højde for i den brede samfundsmæssige energibalance.

4.2.2 Samfundsmæssig energibalance

Tabel 4.3 angiver 1.G.-bioethanolens balance mht. samfundsmæssige ændringer i energiforbrug. Resultaterne er ens for HS1- og HS2-scenarierne i både 65 \$- og 100 \$-varianterne i 2010.

Tabel 4.3 1.G.-bioethanolens regnskab mht. samfundsmæssige ændringer i energiforbrug, 2010, 65 \$ og 100 \$; HS1 og HS2.

(MJ pr. kg bioethanol)	Energiforbrug
Landbrug	0,00
Transport an fabrik	-0,07
Ethanol-konvertering	14,61
- DDGS substituerer sojaskrå	-3,16
Fossil benzin produktion	-2,04
Transport ab fabrik	0,02
Kørselsforbrænding	-1,54
I alt MJ pr. kg bioethanol	7,83

Det fremgår, at der i det brede samfundsmæssige perspektiv er et energimæssigt merforbrug på 7,38 MJ per kg bioethanol i forhold til referencituationens energiforbrug. Tallene reflekterer, at det er meget energi-krævende at konvertere til bioethanol, hvilket kun i mindre grad opvejes af det undgåede energiforbrug ved produktion af fossil benzin og soja-

skrå som biproduktet DDGS's substituerer. For landbruget sker der ingen ændringer, idet der dyrkes den samme foderhvede som før, nu blot anvendt til energiformål. Halmens anvendelse er også uændret. Mht. kørselsenergiforbruget er der en energibesparelse, hvilket reflekterer at ethanolblandingen i benzin medfører en højere energieffektivitet i forhold til ren benzin.

Isoleret set angiver tallet for det ændrede energiforbrug på 7,83 MJ per kg bioethanol kun, at der sker et energimæssigt merforbrug ved at realisere scenarierne i forhold til referencetilstanden, hvilket altså betyder at samfundet sætter energi til. Dette tab kan så vurderes i forhold til eventuelle samfundsmæssige emissionsreduktioner og velfærdsøkonomiske gevinster.

Tabel 4.7 viser konsekvenserne med hensyn til fossil energi. I forhold til hele referencesituationen reduceres det fossile energiforbrug med 18,9 MJ per kg 1.G.-bioethanol produceret, svarende til 49 %.

Tabel 4.4 Ændringer i fossil energiforbrug i scenariesituationen i forhold til referencesituationen.

MJ pr. kg 1.G.-bioethanol	Reference	Scenario	Konsekvens
Ændring i fossilt energiforbrug i forhold til samlet referencesituation	38,9	20,0	-49 -18,9 %

Resultatet af den samfundsmæssige energiforbrugsanalyse viser altså, at der overordnet set er et energimæssigt merforbrug ved at producere 1.G.-bioethanol fra hvede. Dette merforbrug består både af fossil produktionsenergi og det producerede biobrændstof. Fokuseres der alene på det fossile energiforbrug, sker der til gengæld reduktioner ved at producere biobrændstoffet i forhold til referencesituationen.

4.2.3 Samfundsmæssig emissionsbalance

Tabel 4.5 herunder viser emissionskonsekvenserne ved at skifte fra referencescenariet til HS1 og HS2 i 2010 for 65 \$- og 100 \$-varianterne. Data er ens i alle fire tilfælde. Det skal understreges, at der kun er regnet med danske emissionskonsekvenser, hvilket betyder, at indirekte emissioner fra f.eks. kuludvinding og gødningsproduktion opstået i udlandet ikke regnes med.

Tabel 4.5 Luftemissionsændringer - 1.G.-bioethanol, 2010, HS1 og HS2 i 65 \$- og 100 \$-varianterne.

G pr. kg bioethanol	Drivhusgasser				Miljø og helbredskskadelige stoffer					
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq	NO _x	SO ₂	NM VOC	CO	NH ₃	PM ₁₀
Landbrugsproduktion	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transport an fabrik	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ethanol-konvertering	880	0	0	886	1	0	0	0	0	0
<i>Biprodukt: DDGS</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fossil benzin produktion	-96	0	0	-101	0	0	0	0	0	0
Transport ab fabrik	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Kørselsforbrænding	-2056	0	0	-2058	4	0	-3	5	0	0
	-1270	0	0	-1273	5	0	-3	5	0	0

Det ses i tabel 4.5 at der i alle scenarietilfældene vil være en drivhusgas-reduktion på ca. 1,27 kg CO₂-eq. Hvad angår forurenende stoffer er ændringerne minimale. NO_x og CO øges, mens NMVOC sænkes og SO₂ og PM er uændret, men der er i alle tilfælde tale om minimale ændringer set i det samlede danske perspektiv.

Da biproduktet DDGS substituerer sojaskrå der ikke har danske produktionsemissioner, sættes emissionsændringerne her til nul, ligesom der ingen ændringer er i landbruget, da det jo blot er kornudbyttets anvendelsesformål der er ændret.

4.2.4 CO₂eq-emissioner specifikt

Tabel 4.6 viser ændringerne i CO₂eq-emissioner i forhold til den samlede referencesituation. En stor del af CO₂eq-emissionerne stammer fra fossilt energiforbrug, mens CO₂-emissioner fra biomasse er sat til nul idet det regnes som CO₂-neutralt. Inkluderet i CO₂eq-emissionerne er også CH₄ og N₂O.

Tabel 4.6 Ændringer i CO₂eq-emissioner i referencesituationen i forhold til referencesituationen.

	Reference Scenario Konsekvens			
	g pr. kg 1.G.-bioethanol			
Ændring i CO ₂ -emissioner i forhold til samlet referencesituation	2765	1493	-1273	-46%

Ændringerne i forhold til de samlede CO₂eq-emissioner svarer til, hvad der er angivet i tabel 4.5 - nemlig 1273 g per kg produceret 1.G.-bioethanol, idet der ikke ingen af stederne er inkluderet CO₂-neutrale emissioner. Dette giver en CO₂eq-reduktion på 46 % i forhold til den valgte referencesituation.

Dette procenttal er udtryk for CO₂-fortrængning, selvom det ikke er direkte sammenlignelig med andre beregningsmetoder, som f.eks. opstillet i Bekendtgørelse om biobrændstoffers bæredygtighed (Klima- og Energiministeriet, 2009). Derfor er procenttallet, ud over at angive proportionerne, mest anvendelig i projektets interne sammenligninger. Man skal således være opmærksom på, at ændringsprocenterne reflekterer den givne reference man relaterer ændringerne til, som især med hensyn til landbrugsdelen af WTW-analysekæden er afhængig af de konkrete antagelser der er gjort, og hvad der er medinddraget i beregningerne.

4.2.5 N- og P-udvaskningskonsekvenser

Fra landbrugsjorden udvaskes der N (kvælstof) og P (fosfor). I 1.G.-bioethanolscenariedelen sker der ingen landbrugsmæssige omlægninger og derfor heller ingen ændringer i udvaskningerne.

4.2.6 Velfærdsøkonomiske konsekvenser

Tabel 4.4 angiver de velfærdsøkonomiske konsekvenser for bioethanol.

Tabel 4.7 Bioethanolens (1.G) balance mht. velfærdsøkonomiske konsekvenser, 2010.

(kr. pr. kg bioethanol)	65 \$-variant	100 \$-variant
Landbrug	-4,76	-4,76
Transport an fabrik	0,00	0,00
Ethanol-konvertering	-0,57	-0,61
- DDGS substituerer sojaskrå	1,20	1,20
Fossil benzin; reduceret forbrug	3,14	4,80
Transport af fabrik	-0,02	-0,02
Kørselsforbrænding	0,01	0,01
I alt kr. pr. kg bioethanol	-1,01	0,62

Som det fremgår af tabel 4.7, er der et velfærdsøkonomisk tab på 1,01 kr. per kg bioethanol ved skiftet til scenarietilstandene HS1 og HS2 i 2010 i 65 \$-varianten. I 100 \$-varianten er der en gevinst på 0,62 kr. per kg bioethanol.

Tabene er i høj grad præget af den mistede værdi på 4,76 kr. per kg bioethanol af hvedekernerne til foderudnyttelse (i Danmark eller eksporteret), hvilket opvejes af besparelsen ved at undlade forbrug af fossil benzin til en værdi af hhv. 3,14 kr. og 4,80 kr. per kg bioethanol i 65 \$- og 100 \$-varianterne. Også biproduktet DDGSs værdi på 1,20 kr. per kg bioethanol, bidrager positivt i balancen. DDGS substituerer sojaskrå som proteinholdigt foder.

Endelig ses det, at hvor selve konverteringsprocessen var den afgørende faktor i energibalancen, er den kun af mindre betydning for det velfærdsøkonomiske resultat med omkring 0,6 kr. per kg bioethanol.

4.2.7 CO₂-reduktionsomkostninger

CO₂-reduktionsomkostningerne er den velfærdsøkonomiske omkostning per enhed CO₂-reduktion. Jævnfør ovenstående tabeller er CO₂eq-reduktionen 1,3 kg per kg 1.G.-bioethanol i både 65 \$- og 100 \$-varianterne, mens den velfærdsøkonomiske konsekvens for hhv. 65 \$- og 100 \$-varianterne er - 1,01 kr. per kg 1.G.-bioethanol og 0,62 kr. per kg 1.G.-bioethanol. Disse skal dog fratrækkes den indregnede værdi af CO₂eq-emissionsreduktioner og -forøgelser, når reduktionsomkostningerne beregnes, for ikke at regne dobbelt. Resultaterne fremgår af tabellen herunder, og der opnås altså en reduktionsomkostning på 891 kr. per reduceret ton CO₂ i 65 \$-scenariet, mens der i 100 \$-scenariet er en negativ reduktionsomkostning, dvs. en gevinst på 386 kr. per ton CO₂.

Tabel 4.8 CO₂ reduktionsomkostning ved 1.G.-bioethanol.

		65 \$- scenariet	100 \$- scenariet
Velfærdsøkonomisk konsekvens	Kr. pr. kg 1.G.-bioethanol	-1,01	0,62
Velfærdsøkonomisk konsekvens, ekskl. værdi af CO ₂ eq-emissioner	Kr. pr. kg1.G.-bioethanol	-1,13	0,49
CO ₂ eq-reduktion	G pr. kg 1.G.-bioethanol	- 1273	- 1269
CO ₂ – reduktionsomkostning	Kr. pr. ton CO ₂	891	- 385

Med negative reduktionsomkostninger kan CO₂-emissionsreduktionerne altid betale sig, og med positive omkostninger kan man sammenligne med andre metoder til at reducere emissioner på, jf. kapitel 5.

4.2.8 Opsummering og diskussion om 1.G.-bioethanol

Den snævre energibalance viser, at der kun opnås en beskedent energigevinst ved at producere 1.G.-bioethanol, idet der går 61 % fossil energi til produktionen af bioethanol. I den brede samfundsmæssige energibalance er konsekvensen ved at producere 1.G.-bioethanol et forøget energiforbrug for samfundet, når der både regnes med fossil energi og biomasse.

Med fokus på fossil energi, reduceres forbruget med 49 % i forhold til den samlede referencesituations forbrug af fossil energi.

Med hensyn til emissioner sker der et forventet fald i drivhusgasemissionerne CO₂, CH₄ og N₂O. Øvrige emissionsændringer er beskedne. NMVOC falder, mens NO_x og CO øges og SO₂, NH₃ og PM forbliver uændret.

Der er udregnet en CO₂-fortrængning på 46 % i forhold til CO₂eq-emissionerne i det samlede referencescenarie. Denne fortrængningsprocent kan kun med forsigtighed sammenlignes med andre studiers resultater. Især skal man være opmærksom på, hvorledes landbrugsproduktionen er inddraget i udregningerne.

Den velfærdsøkonomiske analyse viser, at i 65 \$-varianten er der et tab på 1,0 kr. per kg bioethanol, mens der i 100 \$-varianten er en gevinst på omkring 0,6 kr. per kg bioethanol. Heri er som nævnt indregnet den økonomiske konsekvens af ændringerne i CO₂-eq og NO_x og SO₂.

Udregningen af den velfærdsøkonomiske reduktionsomkostning, dvs. omkostningsændringer per ton CO₂ giver resultaterne 891 kr. per ton CO₂ og - 385 kr. per ton CO₂ for hhv. 65 \$- og 100-\$-scenarievarianterne.

Resultaterne i den velfærdsøkonomiske analyse viser en følsomhed for især hvedepriser, benzinpriser og pris på sojaskrå. I kapital 3's diskussion omkring RME er hvedeprisernes og det fossile brændstofs priser evalueret. Også sojaskrås verdensmarkedspris fluktuerer en del, og vil således præge resultatet af analyserne.

4.3 Anden generation bioethanol, resultater og diskussion

Tabellen herunder viser specifikke antagelser og forudsætninger vedrørende produktionen af 2.G.-hvedeethanol.

Tabel 4.9 Specifikke antagelser og forudsætninger ved 2.G.-hvedeethanolproduktion.

Referencetilstand	Scenarietilstand
Landbrug	Landbrug
Afgrøde: Vinterhvede (foderhvede). Jordtyper: 70 % lerede jorde (JB5-6) og 30 % sandede jorde (JB1&3), heraf 15 % kunstvandede. 26 % af hvedehalmen anvendes til kraftvarmeproduktion. 74 % af halmen anvendes som strøelse, foder eller nedmuldes og friholdes af beregningerne.	Afgrøde: Vinterhvede (foderhvede). Jordtyper: 70 % lerede jorde (JB5-6) og 30 % sandede jorde (JB1&3), heraf 15 % kunstvandede. 26 % af hvedehalmen anvendes til kraftvarmeproduktion. 24 % af halmen anvendes som strøelse, foder eller nedmuldes og friholdes af beregningerne. 50 % af hvedehalmen anvendes til ethanolproduktionen.
Fossil brændstof konvertering	Ethanolkonvertering
Raffinering af fossil råolie til benzin sker på dansk raffineri, hvorfor både produktionsenergi og produktionsemis-sioner indregnes.	2.G.-bioethanolen produceres på et stand-alone anlæg, af typen IBUS, dvs. med anvendelse af nedbrydningsen-zymer, men uden kraftvarmeværksintegration. Biproduktet Melasse substituerer Sojaskrå som foder efter foderværdi. Biproduktet tørstof (biomasse) substituerer kul som brændsel.
Transport af produkter	Transport af produkter
Der henvises til Appendiks 5 for en liste over antagelser om kørsel.	Der henvises til Appendiks 5 for en liste over antagelser om kørsel.

I det følgende vises resultaterne af beregningerne for 2.G.-bioethanol. Beregningsmetoden følger Møller & Slentø (2010) og der henvises til diverse appendiks for detaljerede grundlagsdata.

4.3.1 Snæver energibalace, 2.G.-bioethanol

Tabel 4.7 viser den snævre energibalace ved at producere 2.G.-bioethanol.

Tabel 4.10 Snæver energibalance – 2.G.-bioethanol

	Energiindhold (MJ pr. kg bioethanol)	Energiforbrug (MJ pr. kg bioethanol)
Produkter		
Bioethanol	26,70	
Direkte og indirekte energiforbrug		
Hvedeproduktion		24,76
Transport af hvedehalm til bioethanol produktionsanlægget		0,13
Bioethanol konvertering		31,27
Transport af Bioethanol til tankstationer		0,03
Sum		56,18
Biprodukters indirekte energiforbrug		
Hvedekerner		-21,50
Hvedehalm til forbrænding		-3,26
Melasse		-1,19
Biomasse		-2,87
I alt bioethanol	26,70	27,35
WTT-forbrugsfaktor (input MJ / output MJ)		102 %

Den snævre energibalance ser på det konkrete energiforbrug ved at producere et givent biobrændstof, og medregner således ikke energibesparelserne i samfundet ved at ophøre med anden produktion.

I balancen er energiforbruget i landbrugsproduktionen medregnet, men trukket fra igen under biprodukters energiforbrug i form af "biprodukterne" hvedekernerens andel af energiforbruget på 21,5 MJ og kraftværks-halms energiforbrug på 3,3 MJ. Med andre ord, den del af halmen der anvendes til bioethanolproduktionen anses som produceret uden energiforbrug, hvilket skyldes, at den i scenarieantagelserne betragtes som en hidtil gratis ressource. Se uddybning under afsnit 4.3.6.

Produktionsenergi fra biprodukterne "biomassetørstof" og melasses er også fratrukket. Hvor det indirekte energiforbrug for "biomasse" fra raffineringen er beregnet ud fra dets substitutionsprodukt kul, er melassens energiforbrug beregnet ud fra foderhvede som substitutionsprodukt.

Der er en well-to-tank-energiforbrugsfaktor på 102 % som er beregnet som nettoenergiforbruget i forhold til bioethanolens energiindhold på 26,7 MJ per kg. Med andre ord sættes der energi til ved at producere 2.G.-bioethanol i denne stand-alone proces, hvor procesenergien ikke tilføres i samproduktion med et kraftvarmeverk.

4.3.2 Samfundsmæssig energibalance

Tabel 4.8 viser den brede energibalance for de samfundsmæssige energiændringer ved at producere 2.G.-bioethanol fra hvedehalm i HS1 og HS2 i varianterne 65 \$ og 100 \$.

Tabel 4.11 2.G.-bioethanolens regnskab mht. samfundsmæssige ændringer i energiforbrug. HS1 og HS2; 65 \$ og 100 \$

	Energi forbrug (MJ pr. kg bioethanol)
Landbrug	0,00
Transport an fabrik	0,13
Ethanol-konvertering	31,27
- Melasse	-1,19
- Biomasse	-2,87
Fossil benzin; reduceret forbrug	-2,04
Transport af fabrik	0,09
Kørselsforbrænding	-1,54
I alt MJ pr. kg bioethanol	23,84

Tabellen viser et ændret energiforbrug på 23,84 MJ per kg bioethanol produceret i alle scenarievarianter. Som ved 1.G.-bioethanol er selve konverteringsprocessen meget energikrævende. Også kørselsforbrændingen medfører en energibesparelse, hvilket skyldes en svag forbedring i energieffektivitet ved blandingsproduktet i forhold til ren benzin.

Isoleret set angiver energiforbrugsmængden kun, at der sker et energimæssigt merforbrug ved at realisere scenarierne i forhold til referencetilstanden. Dette merforbrug er sammensat af fossil energi og biomasseenergi. Tabel 4.12 viser konsekvenserne med hensyn til fossil energi. I forhold til hele referencesituationen, inklusiv landbrugsproduktionen, *reduceres* det fossile energiforbrug med 33,5 MJ per kg 2.G.-bioethanol produceret, svarende til 37 %.

Tabel 4.12 Ændringer i fossilt energiforbrug i scenariesituationen forhold til referencesituationen.

MJ pr. g 2.G.-bioethanol	Reference	Scenario	Konsekvens	
Ændring i fossilt energiforbrug i forhold til samlet referencesituation	90,2	56,7	-33,5	-37 %

Resultatet af den samfundsmæssige energiforbrugsanalyse viser, at der overordnet set er et energimæssigt merforbrug ved at producere 1.G.-bioethanol fra hvede. Dette merforbrug består både af fossilt brændstof og biomasse. Fokuseres der på det fossile energiforbrug sker der reduktioner ved at producere biobrændstoffet i forhold til den samlede referencesituation.

4.3.3 Samfundsmæssig emissionsbalance

Tabel 4.13 viser emissionskonsekvenserne ved at skifte fra referencescenariet til HS1 og HS2 i 2010 i 65 \$- og 100 \$-varianterne, hvor data er ens i alle fire tilfælde.

Tabel 4.13 Luftemissionsændringer for 2.G.-ethanol for HS1 og HS2 i 65 \$- og 100 \$-varianten.

G pr. kg bioethanol	Drivhusgasser				Miljø og helbredsskadelige stoffer					
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq	NO _x	SO ₂	NMVOG	CO	NH ₃	PMtsp
Landbrug	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Konvertering	2630	0	0	2638	3	1	0	0	0	0
Biprodukter (melasse og tørstof)	-3213	0	0	-3209	0	0	0	2	-1	0
Transport an/ab	16	0	0	17	0	0	0	0	0	0
Fossil benzin raffinering	-96	0	0	-101	0	0	0	0	0	0
Kørselsforbrænding	-2056	0	0	-2058	4	0	-3	5	0	0
I alt	-2718	0	0	-2714	7	1	-3	7	-1	0

Det fremgår af tabellen, at der reduceres drivhusgasemissioner med CO₂eq på 2,7 kg per kg 2.G.-bioethanol. Ud over den CO₂-emission der undgås ved kørselsforbrændingen, fordi bioethanolens emissioner er CO₂-neutrale, undgås der også CO₂-emissioner i konverteringsleddet, idet biproduktet biomasse, der også er CO₂-neutralt, substituerer fossilt kul i kraftværker.

Også emissionerne af NMVOG og NH₃ reduceres. Derimod øges emissionerne af NO_x, SO₂, CO, mens partikler (PM) er uændret. Disse ændringer er dog marginale.

4.3.4 CO₂eq emissioner specifikt

Tabel 4.14 viser ændringerne i CO₂eq-emissioner i forhold til den samlede referencesituation. En stor del af CO₂eq-emissionerne stammer fra fossilt energiforbrug, mens CO₂-emissioner fra biomasse er sat til nul, idet det regnes som CO₂-neutralt. Inkluderet i CO₂eq-emissionerne er også CH₄ og N₂O - der dog kun bidrager minimalt i konsekvensregnskabet.

Tabel 4.14 Ændringer i CO₂eq-emissioner i referencesituationen i forhold til referencesituationen.

g pr. kg 2.G.-bioethanol	Reference	Scenario	Reduktionskonsekvens	
Ændring i CO ₂ -emissioner i forhold til samlet referencesituation	8113	5399	-2714	-33 %

Ændringerne i forhold til de samlede CO₂eq-emissioner svarer til, hvad der er angivet i forrige tabel, -2,7 kg per kg produceret 2.G.-bioethanol, idet der ikke ingen af stederne er inkluderet CO₂-neutrale emissioner. Dette giver en CO₂eq-reduktion på 33 % i forhold til referencesituationen.

Procenttallet er et udtryk for CO₂-fortrængning, om end de ikke er direkte sammenlignelige med andre beregningsmetoder, som f.eks. opstillet i Bekendtgørelse om biobrændstoffers bæredygtighed (Klima- og Energi ministeriet, 2009). Man skal således være opmærksom på, at ændringsprocenterne reflekterer den givne reference man relaterer ændringerne til. Især med hensyn til landbrugsdelen af WTW-analysekæden er ændringerne afhængige af de konkrete antagelser der er gjort, og hvad der er medinddraget i beregningerne.

4.3.5 N- og P-udvaskning

Fra landbrugsjorden udvaskes der N (kvælstof) og P (fosfor). I 2.G.-bioethanolscenariedelen sker der ingen landbrugsmæssige omlægninger der umiddelbart fører til ændringer i udvaskningerne. Effekten af ikke at nedmulde halm er dog ikke taget i betragtning.

4.3.6 Velfærdsøkonomiske konsekvenser

Tabel 4.15 angiver de velfærdsøkonomiske konsekvenser af at gå fra referencesituationen til HS1- og -situationen i 2010 for 65 \$- og 100 \$-varianterne.

Tabel 4.15 2.G.-bioethanolens velfærdsøkonomiske konsekvenser, 2010.

HS1 og HS2	65\$	100\$
	(kr. pr. kg bioethanol)	(kr. pr. kg bioethanol)
Landbrug	0,00	0,00
Transport an fabrik	-0,18	-0,18
Ethanol-konvertering	-3,79	-4,05
- Melasse	1,27	1,27
- Biomass	0,90	1,23
Fossil benzin; reduceret forbrug	3,14	4,80
Transport af fabrik	-0,12	-0,12
Kørselsforbrænding	0,01	0,01
I alt	1,23	2,95

Som det fremgår af tabellen, er der en velfærdsøkonomisk gevinst på 1,23 kr. per kg ethanol i 65 \$-varianten. Dette skyldes især, at der antages ikke at opstå ændringer i landbrugsomkostningerne; hvedekernerne anvendes som hidtil som foder (enten hjemligt eller eksporteret) og det antages omkostningsfrit at anvende 50 % af hvedehalmen, der hidtil for størstepartens part har været pløjet ned. Dette er som nævnt en antagelse med modifikationer, idet den hidtil nedmuldede halm har en jordforbedrende betydning, både mht. struktur og kulstoftilførsel, men dette studie har afgrænset sig fra at beregne økonomien i tabet eller en evt. kompensation.

For 100 \$- scenarievorianterne er der en større gevinst, nemlig 2,95 kr. per kg bioethanol. Den større gevinst er primært forårsaget af den højere pris på fossil diesel, og tilsvarende en højere substitutions-kulpris for bi-produktet "biomasse" fra konverteringsprocessen.

4.3.7 CO₂-reduktionsomkostning

CO₂-reduktionsomkostningen er den velfærdsøkonomiske omkostning per CO₂-reduktion. Jævnfør ovenstående tabeller er CO₂eq-reduktionen 2,7 kg per kg 2.G.-bioethanol i både 65 \$- og 100 \$-varianterne, mens den velfærdsøkonomiske konsekvens for hhv. 65 \$- og 100 \$-varianterne er 1,23 kr. per kg 2.G.-bioethanol og 2,95 kr. per kg 2.G.-bioethanol. Disse skal dog fratrækkes den indregnede værdi af CO₂eq-emissions reduktioner og forøgelse, når reduktionsomkostningen beregnes, for ikke at regne dobbelt. Resultaterne fremgår af tabel 4.16 herunder. Der opnås altså en negativ reduktionsomkostning, dvs. en gevinst på 347 kr. per ton reduceret CO₂ i 65 \$-scenariet, mens der i 100 \$-scenariet er en negativ reduktionsomkostning, dvs. en gevinst på 984 kr. per ton CO₂.

Tabel 4.16 CO₂-reduktionsomkostning , 2.G.-bioethanol, 2010, HS1 og HS2.

		65 \$-varianter	100 \$-varianter
Velfærdsøkonomisk konsekvens	Kr. pr. kg 2.G.-bioethanol	1,23	2,95
Velfærdsøkonomisk konsekvens, ekskl. værdi af CO ₂ eq-emissioner	Kr. pr. kg 2.G.-bioethanol	0,94	2,67
CO ₂ eq-reduktion	g pr. kg 2.G.-bioethanol	- 2714	- 2710
CO ₂ -reduktionsomkostning	Kr. pr. ton CO ₂	- 347	- 984

Med negative reduktionsomkostninger kan CO₂-emissionsreduktionerne altid betale sig. Med positive omkostninger kan man sammenligne med andre metoder til at reducere emissioner på, jf. kapitel 5.

4.3.8 Opsummering og diskussion om 2.G.-bioethanol

For 2010 viser den snævre energibalance, at det er ufordelagtigt at producere 2.G.-bioethanol, idet der går 102 % fossil energi til produktionen.

I den brede samfundsmæssige konsekvensanalyse er der også et merforbrug af energi. Tages fossil energi alene, sker der en reduktion i forhold til den samlede referencesituation på 37 %.

Det er en velkendt problematik at 2.G.-bioethanolproduktion er ganske ineffektivt i stand-alone-situationer, hvorfor man arbejder med integrerede løsninger, hvor overskudsvarme fra kraftværker udnyttes som procesenergi. Dette belyses nærmere i en følsomhedsanalyse i kapitel 6 "Integreret produktionsenergi".

Med hensyn til emissioner sker der et forventet fald i drivhusgasemissionerne CO₂, CH₄ og N₂O. Faldet i CO₂-emissioner hentes både fra reduktioner ved selve kørselsforbrændingen af bioethanolen og i konverteringsleddet, hvor biproduktet biomasse bidrager til faldet. Samlet set sker der en CO₂-fortrængning på 33 % i forhold til referencesituationen.

Øvrige emissionsændringer er beskedne. NMVOC og NH₃ falder, mens NO_x, SO₂ og CO øges og PM forbliver uændret.

Det fremgår af de foregående velfærdsøkonomiske analyser af RME og 1.G.-bioethanol, at de balancerer omkring tab eller gevinst afhængig af om olieprisen er 65 \$ eller 100 \$. Dette gælder ikke for 2.G.-bioethanol, der i begge varianter viser en velfærdsøkonomisk fordel, hvad angår år 2010. I 65 \$-varianten er der en gevinst på 1,23 kr. per kg bioethanol, mens der i 100 \$-varianten er en gevinst på 2,95 kr. per kg bioethanol. Heri er som nævnt indregnet den velfærdsøkonomiske værdi af ændringerne i CO₂-eq og NO_x og SO₂.

Udregningen af den velfærdsøkonomiske reduktionsomkostning, dvs. omkostningsændringer per ton CO₂ giver resultaterne - 347 kr. per ton CO₂ og - 984 kr. per ton CO₂ for hhv. 65 \$- og 100 \$-scenarievarianterne. Det er altså negative omkostninger som betyder, at der er en god gevinst i 2.G.-produktionen mht. drivhusgasemissionsreduktioner.

Med hensyn til de elementer der er medregnet, er olieprisen og relatere de energipriser, som set i de andre tilfælde, af væsentlig betydning. Også

afsætningen af biprodukterne melasse og biomasse har markant indflydelse på balancerne. Her må det antages, at melassen der anvendes som fodertilsætning, prismæssigt følger andre proteinfattige men kulhydratrige tilsætningsprodukter. Biomassen substituerer kul som kraftværksbrændsel, og her antages det, at prisen følger udviklingen i kulprisen, der er koblet til olieprisens udvikling.

Samlet set er der altså en emissionsmæssig og velfærdsøkonomisk gevinst ved at realisere 2.G.-bioethanolscenarierne i år 2010. En markant årsag til den velfærdsøkonomiske gevinst, er, at de 50 % halm der anvendes til 2.G.-bioethanol, i referencesituationen regnes for en ledig ressource - både hvad angår energi, produktionsemissioner og omkostninger. Dette er i overensstemmelse med det faktum at overskudshalmen ikke har nogen handelsværdi. Omvendt kan man argumentere for, at hvis den kan have en nytteværdi i scenarietilstanden som grundlag for bioethanol, må der også være knyttet en *offeromkostning* (opportunity cost) til halmen i referencesituationen. Dette forhold er undersøgt i en følsomhedsanalyse i kapitel 6, hvor det antages at "bioethanol-halmen" i referencesituationen forbrændes på kraftværk og således har både energimæssig og velfærdsøkonomisk værdi.

5 Illustrativ scenariefremskrivning

I dette kapitel præsenteres kvantificerede fremskrivninger af HS1-scenariet i dets to varianter 65 \$ og 100 \$. Fremskrivningerne er simple og fremstår som illustrative kvantificeringer, uden hensyntagen til den mængdemæssige og tidsmæssige dynamik. Også for HS2 er der foretaget fremskrivninger, hvilke efter 2020 fremstår som højest usikre, idet scenariet ikke kan opfyldes med RME alene baseret på dansk dyrket raps.

5.1 Forudsætninger for fremskrivninger

Tabel 5.1 angiver de grundlæggende scenarieantagelser om iblandingsprocenter af biobrændstof målt i energiforhold. Biodiesel og bioethanol iblandes i samme procentandele i hhv. fossil diesel og benzin over årene, mens forholdet imellem 1.G.- og 2.G.-bioethanol ændres over årene, til fordel for 2.G.-bioethanol.

Tabel 5.1 Iblandingsprocenter – energiprocenter - af biobrændstof i fossilt brændstof samt fordelingprocenter imellem 1.G.- og 2.G.-bioethanol 2010-2030. Gældende for både 65 \$- og 100 \$-scenarierne (jf. Jørgensen, 2008).

Fordelingsprocenter imellem 1.G.- og 2.G.-bioethanol, %		2010	2015	2020	2025	2030
HS1	biodiesel og bioethanol	5,75	7,9	10	10	10
HS2	biodiesel og bioethanol	5,75	10,4	15	20	25
Fordelingsprocenter imellem 1.G.- og 2.G.-bioethanol						
HS1	1.G.-ethanol	87	63	45	40	35
	2.G.-ethanol	13	37	55	60	65
HS2	1.G.-ethanol	87	48	33	25	20
	2.G.-ethanol	13	52	67	75	80

Grundlæggende beregnes scenarierne ud fra de energi- og emissionsmæssige samt velfærdsøkonomiske konsekvenser, udregnet per kg biobrændstof for år 2010 (kapitel 3 og 4). I dette kapitel skaleres disse scenarier op i forhold til det totale biobrændstofbehov for år 2010 og frem til 2030 (Winther & Plejdrup, 2010) som beregnet ud fra transportfremskrivningerne i REBECA-projektet, jf. Frederiksen & Jensen (2010).

Dette betyder at produktionsforholdene (energiforbrug, emissioner og omkostninger) for biobrændstofferne antages at være uændret i perioden 2010 – 2030, hvilket naturligvis ikke er realistisk. Imidlertid er fremskrivningen af biobrændstofproduktionsforholdene i Danmark kompliceret, idet ændringer i teknologi og omkostninger er vanskeligt forudsigelige. For RME og 1.G.-bioethanol antages det generelt, at teknologierne er modne og at der ikke forventes yderligere effektiviseringer af betydning, jf. COWI (2007) og Jørgensen (2008). Derimod er der tale om ganske umodne teknologier i forbindelse med 2.G.-bioethanolproduktionen. I fremskrivningsberegninger foretaget af Hedegaard Jensen & Thyø (2007) anvendtes faldende enzympriser over tid, hvilket også er en mulighed i regnearksmodellen i herværende studie. Muligheden er dog valgt fra, for ikke at sætte særligt fokus på en enkelt faktor, når andre faktorer lige såvel kan ændre sig over tid.

Fremskrivningerne med deres simple opskalering af energiforbrug, emission og velfærdsøkonomisk konsekvens per kg biobrændstof, forbliver illustrative, dels pga. at den implicite antagelse om et statisk teknologiniveau og dels pga. af den manglende tagen højde for de dynamiske effekter der træder i kraft jo større produktion og forbrug er.

Som det eneste tilfælde, er der taget højde for ændringerne i de teknologiske forhold ved beregning af energiforbrug og emissioner under selve kørselsforbrændingen. Her har det med en bagvedliggende transportmodel, været muligt at beregne energi og emissionskonsekvenser (Winther & Plejdrup, 2010) bl.a. på baggrund af antagelser om den gradvise indførsel af skærpede EURO-normer for emissioner.

5.1.1 Arealbegrænsning

Inden for dette WTW-projektets rammer er de to scenarier opfattet som højt prioriterede for samfundet at gennemføre, hvilket betyder at landbrugsproduktionen i høj grad indretter sig efter behovet for biobrændstofproduktion. I den grad der mistes hidtidige kornafgrøder, antages de erstattet med importerede afgrøder.

Imidlertid er der taget nogle basale arealbegrænsninger i betragtning, som sætter grænser for produktionen af raps. Raps kan kun dyrkes på det samme areal hvert 4.-5. år for at undgå plantesygdomme relateret til specielt denne type afgrøde. Med en antagelse om at der kun kan dyrkes raps hvert fjerde år, vil der være en øvre grænse på 25 % af det tilgængelige landbrugsareal for rapsdyrkning. Det tilgængelige landbrugsareal er beregnet ud fra det samlede landbrugsareal fratrukket permanente græsarealer og arealer der anvendes mere til specielle lokalitetsspecifikke afgrøder (Larsen, L.E. et al. 2010).

I grænsen på 25 % skal medregnes de arealer som hidtidig er anvendt til rapsdyrkning. Det drejer sig om en anelig mængde, der udgør omkring 8 % af det tilgængelige landbrugsareal i rotation, hvor olierne herfra går til hjemlig fødevarerproduktion (27 %), eller eksporteres som brændstof (28 %) eller konverteres til RME (45 %) og eksporteres (jf. personlig kommunikation med hhv. Scanola, DLG og Emmelev).

Ud over dette er der nogle begrænsninger som ikke får praktisk betydning, nemlig om der er kornarealer nok til at levere halm til 2.G.-bioethanolproduktionen. Endvidere vil det være en forudsætning, at der skal restere omkring 25 % af landbrugsarealet til grovfoderproduktion (græs, majs, helsæd, foder osv.) der vanskeligt kan erstattes med tilsvarende importerede produkter pga. transportomkostninger.

5.1.2 Efterspørgselsbereninger

Tabel 5.2 viser scenariernes brændstofefterspørgsel hvor RME-efterspørgslen er opdelt i hhv. dansk produceret og importeret, jf. ovenstående afsnit om arealmæssige begrænsninger for dyrkning af raps (Winther & Plejdrup, 2010).

Tabel 5.2 Beregnet brændstofforbrug i referencesituationerne og i HS1- og HS2-scenarierne for hhv. 65 \$- og 100 \$-scenarierne, jf. Winther & Plejdrup (2010) - opdelt på dansk produktion og import hvad angår RME.

	2010	2015	2020	2025	2030
	Ton brændstof	Ton brændstof	Ton brændstof	Ton brændstof	Ton brændstof
Reference diesel	2693131	3132783	3490553	3821524	4144536
Reference benzin	1457590	1293494	1273321	1296243	1336732
HS1					
RME	175387	279140	394554	431965	468477
- produceret i DK	175387	279140	394554	431965	468477
- importeret	0	0	0	0	0
Ethanol	137034	166091	207067	210768	217362
HS2					
RME	175387	373934	605114	867921	1163090
- produceret i DK	175387	373934	605114	760622	740911
- importeret	0	0	0	94034	268936
Ethanol	137034	221978	316138	420049	533093

I nedenstående tabel 5.3 beregnes arealbehovet. I første sektion er angivet referencescenariets totale areal i rotation, den maksimale grænse for raps på 25 % og det nuværende rapsareal.

Efterfølgende i tabellen er angivet arealbehovet i de fire hovedscenariet varianter for hhv. raps, hvedekerner og rapshalm. Sidstnævnte under forudsætning af at der udnyttes 50 % halm per mark til bioethanolproduktionen. Specielt for raps er der også angivet hvor stor en mængde der kan produceres på danske jorde, og hvor stor en mængde der supplerende må importeres for at opfylde scenariernes iblandingsprocenter af biobrændstof, Larsen, L.E. et al. 2010.

Som det fremgår, vil det kun være for HS2-scenarierne i 2025 og 2030 at der må importeres. Man når altså maksimumgrænsen for dansk produceret raps til RME omkring 2020. Dette indebærer, at den maksimale iblandingsprocent der kan opfyldes med RME, vil være omkring 15 %, hvorefter der må importeres, eller anden form for biodiesel må anvendes, f.eks. FTME, som er biodiesel produceret på animalsk affald. Tabellen angiver arealbehovet der ækvivalerer den mængde RME der skal importeres.

Tabel 5.3 Landbrugsareal i referencesituationen, og efterspørgsel og dækning i scenariesituationerne for raps, hvedekerner og halm.

Enhed: ha		2010	2015	2020	2025	2030
Referencesituation	land in rotation	2417473	2368042	2334457	2300872	2267287
	Maksimalt raps areal (25 %)	604368	592011	583614	575218	566822
	Dyrket raps, nuværende arealer	201915	214077	214077	214077	214077
HS1-65 \$						
Efterspørgsel	raps	132985	212537	299759	328181	355921
	foderhvede	56109	49517	44061	39862	35962
	halm (50 % per ha)	40457	140330	259859	288522	322270
Opfyldelse	Dyrket raps (nye arealer)	132985	212537	299759	328181	355921
	Dyrket raps (nuværende arealer)	0	0	0	0	0
	Importeret raps	0	0	0	0	0
	importandel	0%	0%	0%	0%	0%
HS2-65 \$						
Efterspørgsel	raps	132985	279796	449639	656362	889803
	foderhvede	56109	49666	48467	49827	51374
	halm (50 % per ha)	40457	259632	474833	721305	991601
Opfyldelse	Dyrket raps (nye arealer)	132985	279796	369538	361141	352745
	Dyrket raps (nuværende arealer)	0	0	80101	214077	214077
	Importeret raps	0	0	0	81144	322981
	importandel	0%	0%	0%	12%	36%
HS1-100 \$						
Efterspørgsel	raps	129025	201605	279926	302099	323009
	foderhvede	43906	38451	34221	30964	27938
	halm (50 % per ha)	17525	60322	111724	124067	138596
Opfyldelse	Dyrket raps (nye arealer)	129025	201605	279926	302099	323009
	Dyrket raps (nuværende arealer)	0	0	0	0	0
	Importeret raps	0	0	0	0	0
	importandel	0%	0%	0%	0%	0%
HS2-100 \$						
Efterspørgsel	raps	129025	265404	419888	604198	807522
	foderhvede	43906	38567	37643	38705	39912
	halm (50 % per ha)	17525	111605	204150	310167	426448
Opfyldelse	Dyrket raps (nye arealer)	129025	265404	369538	361141	352745
	Dyrket raps (nuværende arealer)	0	0	50351	214077	214077
	Importeret raps	0	0	0	28980	240701
	importandel	0%	0%	0%	5%	30%

Kilde: Beregnet ud fra arealfremskrivninger i Larsen, L.E. et al. 2010.

Tabellen viser ikke at behovet for hvedehalm overstiger hvedearealet, når der fraregnes hvad der inddrages til rapsmarker. Her antages det, at der problemfrit kan suppleres med halm fra øvrige kornarealer, primært byg.

5.1.3 Konsekvens for scenarieberegninger

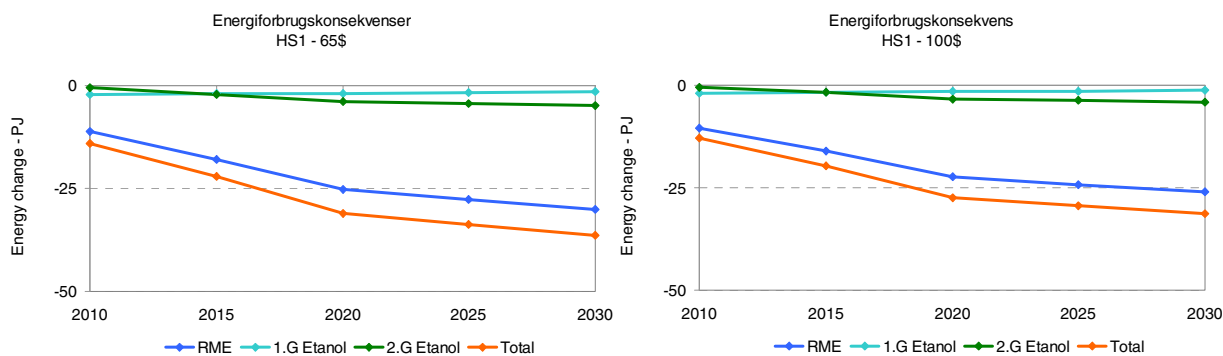
HS1-scenariet der topper med 10 % RME-iblanding i 2020-2030 vil stort set kunne gennemføres udelukkende ved, at der oprettes ny rapsarealer på bekostning af hvedearealer. Dette vil sige, at ud over scenariets rapsproduktion vil der være den hidtidige rapsproduktion og tilsammen vil de udgøre ca. 25 % af det tilgængelige landbrugsareal i rotation i 2030. HS1-scenariets RME-efterspørgsel markerer altså en grænse for med hvor meget rapsproduktionen kan udvides i Danmark.

For at opfylde HS2-scenariet må den eksisterende rapsproduktion indregnes fra 2020 og fremefter, og der må yderligere importeres RME fra 2025 og fremefter. I dette studie er der grundlæggende kun beregnet for en situation, hvor raps afløser hvede på danske jorde, hvilket i 2030 kun vil dække 40 % af det samlede RME-behov. Således er der ikke udført beregninger for WTW-konsekvenserne af at inddrage en hidtidig rapsproduktion der vil udgøre 24 % af RME-behovet i 2030. Der er heller ikke lavet beregninger for WTW-konsekvenserne ved importeret RME som vil udgøre 36 % af RME-behovet.

5.2 Illustrativ HS1-scenariefremskrivning

5.2.1 Energiforbrugskonsekvenser

Figur 5.1 viser ændringerne i det samfundsmæssige *fossile* energiforbrug ved produktionen, distributionen og forbrændingen af biobrændstoffer i HS1-scenariet i dets to varianter. Tallene angiver ændringerne fra samme års referencesituation, hvilket betyder at ændringerne ikke kun skyldes øget iblanding af biobrændstof, men også øget kørsel som sådan.



Figur 5.1 Forbrugskonsekvenser ved fossil energi for HS1 i 65 \$- og 100 \$-varianterne.

5.2.2 Energiiforbrugskonsekvenser i forhold til samlet dansk energiforbrug

Tallene fra figur 5.1 er vist i tabel 5.4 herunder. Disse tal skal ses i forhold til et omtrentligt fossil-bruttoenergiforbrug på 721 PJ i Danmark i 2008 (Energistyrelsen, 2009b). Med en iblanding på 10 % i 2030 og med en energiforbrugskonsekvens på hhv. - 36 PJ og - 31 PJ reduceres det samlede danske fossil-energiforbrug per 2008 med hhv. 5 % og 4 % for 65 \$- og 100 \$-varianten.

Tabel 5.4 Konsekvenser for fossil energiforbrug ved HS1 og sat i forhold til Danmarks samlede fossile energiforbrug i 2008 på 721 PJ.

		2010	2015	2020	2025	2030	Ændringer i forhold til samlet dansk fossile energiforbrug 2008, %		
							2010	2020	2030
Peta Joule									
HS1 – 65 \$	RME	-11,3	-17,9	-25,3	-27,7	-30,1	-1,6	-3,5	-4,2
	1.G.-ethanol	-2,2	-2,0	-1,8	-1,7	-1,5	-0,3	-0,3	-0,2
	2.G.-ethanol	-0,6	-2,1	-3,9	-4,3	-4,9	-0,1	-0,5	-0,7
	Total	-14,1	-22,0	-31,1	-33,7	-36,4	-2,0	-4,3	-5,1
HS1 – 100 \$	RME	-10,4	-16,1	-22,4	-24,2	-25,9	-1,4	-3,1	-3,6
	1.G.-ethanol	-1,9	-1,7	-1,6	-1,4	-1,3	-0,3	-0,2	-0,2
	2.G.-ethanol	-0,5	-1,8	-3,4	-3,7	-4,2	-0,1	-0,5	-0,6
	Total	-12,8	-19,7	-27,4	-29,3	-31,3	-1,8	-3,8	-4,3

Som det fremgår, udviser RME de største energiforbrugsreduktioner både i absolutte tal og relativt i forhold til det samlede danske fossile energiforbrug i 2008.

De to bioethanolbrændstoffer udviser også procentmæssige reduktioner i fossilt energiforbrug, men i mindre grad, ligesom de kun bidrager marginalt til den samlede reduktion i fossilt energiforbrug. I alle tilfælde er det biprodukternes (halm, glycerin, biomassetørstof) substitution med fossilt brændstof der har en væsentlig indflydelse på resultaterne.

5.2.3 Emissionskonsekvenser

De samlede emissionskonsekvenserne i HS1-scenarierne er beregnet fra 2010 til 2030. Der er tale om en opskalering af emissionsændringerne fra emissioner per kg biobrændstof, beregnet i kapitel 3 og 4, til absolutte mængder som foreskrevet i scenarieantagelserne, jf. indledningen til dette kapitel.

Her i dette afsnit gennemgås, for overskuelighedens skyld, de samlede emissionskonsekvenser, mens data i appendiks 5 udspecificeres på de tre biobrændstoftyper RME og 1.G.- og 2.G.-bioethanol. Det skal pointeres at perspektivet er det samfundsmæssige og ikke transportsektoren separat. Således siger resultatet ikke noget om emissionsændringerne i transportsektoren isoleret set, men om de elementer der er inddraget i WTW-kædens analyse fra mark til forbrænding.

Tabel 5.5 nedenfor angiver emissionsændringerne i absolutte størrelser for hvert af stofferne i kolonnerne 2010-2030. For at illustrere størrelsesforholdene er der i de fire yderste kolonner til højre i tabellerne angivet Danmarks samlede emissioner i 2008 som opgjort af DMU (2009b) og i forhold hertil, scenariernes emissionsændringer, illustreret for år 2010 og år 2030. Tallene for 2030 forbliver en illustration, idet det må forventes at referenceemissionerne i 2030 er betydelig lavere end i 2008, som følge af Danmarks politik om nedbringelse af drivhusgasemissioner. Udspecificeret data for de tre brændstoftyper er vist i appendiks 5.

Sættes CO₂eq-ændringen i 2010 i relation til de samlede CO₂eq-mængder i 2008, markerer en biobrændstofblanding på 5,75 % i 2010 en reduktion på 1,7 % i 65 \$-scenariet og på 1,5 % i 100 \$-scenariet. Med en antagelse om at de samlede CO₂eq-emissioner år 2030 ligger på samme niveau som i år 2008, vil reduktionerne være på 5,1 % i 65 \$-situationen og 4,3 % i 100

\$-situationen. Men disse reduktionsprocenter forbedres jo mere de samlede CO₂-emissioner i øvrigt nedbringes i forhold til 2008.

Tabel 5.5 Emissionsændringer ved biobrændstofs-scenarierne HS1 i 65 \$- og 100 \$-varianten, og sat i forhold til Danmarks samlede emissioner 2008.

	Emissionskonsekvenser					Danmarks samlede emissioner	Ændringer i forhold til 2008-niveau, %			
	2010	2015	2020	2025	2030	2008	2010	2020	2030	
	tons	tons	tons	tons	tons	tons	%	%	%	
HS1-65 \$ CO ₂	-1058965	-1674933	-2374904	-2578832	-2790674	51156804	-2,1	-4,6	-5,5	
CH ₄	-117	-146	-185	-192	-205	264713	0,0	-0,1	-0,1	
N ₂ O	28	34	40	43	45	21719	0,1	0,2	0,2	
CO ₂ eq	-1051169	-1661606	-2355497	-2557412	-2767368	63448665	-1,7	-3,7	-4,4	
NO _x	1052	961	949	811	751	151686	0,7	0,6	0,5	
SO ₂	-42	-21	3	7	16	19605	-0,2	0,0	0,1	
NMVOG	-222	110	339	422	474	106306	-0,2	0,3	0,4	
CO	859	1103	1543	1661	1768	435677	0,2	0,4	0,4	
NH ₃	18	-2	-28	-31	-39	73726	0,0	0,0	-0,1	
PMtsp	-90	-78	-60	-36	-26	44158	-0,2	-0,1	-0,1	
HS1-100 \$ CO ₂	-963577	-1494380	-2091700	-2245066	-2401304	51156804	-1,9	-4,1	-4,7	
CH ₄	-107	-132	-165	-170	-179	264713	0,0	-0,1	-0,1	
N ₂ O	26	31	36	38	38	21719	0,1	0,2	0,2	
CO ₂ eq	-956417	-1482441	-2074587	-2226438	-2381312	63448665	-1,5	-3,3	-3,8	
NO _x	945	866	856	732	679	151686	0,6	0,6	0,4	
SO ₂	-38	-21	0	5	13	19605	-0,2	0,0	0,1	
NMVOG	-192	95	287	351	388	106306	-0,2	0,3	0,4	
CO	724	921	1286	1378	1458	435677	0,2	0,3	0,3	
NH ₃	18	0	-22	-26	-34	73726	0,0	0,0	0,0	
PMtsp	-82	-69	-51	-29	-20	44158	-0,2	-0,1	0,0	

NMVOG tegner sig for den mest dramatiske stigning i forhold til referencesituationen, jf. figur 5.2. Som tabellen viser udgør ændringen i år 2030, i forhold til de samlede danske NMVOG-emissioner i 2008, kun 0,4 % i begge scenarievarianter. Øvrige ændringer i forurenende og sundhedsskadelige emissioner holder sig gennemgående under 0,5 % i forhold til de samlede danske emissioner i 2008.

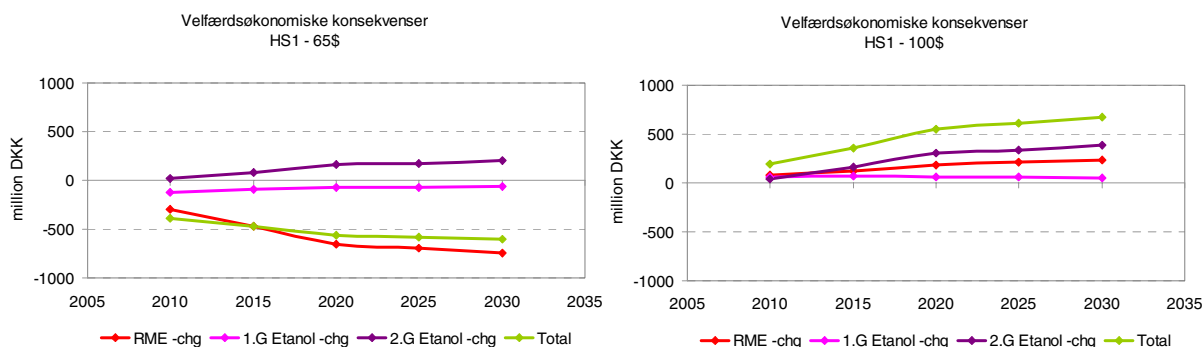
Det samlede billede af at realisere HS1-scenarierne, hvad enten i 65\$- eller 100\$-varianten er således ikke entydigt mht. emissionskonsekvenser; der er både reduktioner og stigninger, men med CO₂-emissionsreduktionerne som de mest markante.

Som rapporten viser er kun CO₂-ækvivalenter og SO₂ og NO_x prissat i den velfærdsøkonomiske analyse, hvad angår luftemissionerne. Som beregningspriser er anvendt de priser som er angivet i "Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet" (Energistyrelsen, 2009). Af dette afsnits oversigt over både negative og positive emissionskonsekvenser af scenarierne, fremgår det at den manglende prissætning af de øvrige emissioner repræsenterer en vis usikkerhed i de økonomiske beregninger. Resultaterne af konsekvensberegningerne for NO_x og SO₂ viser imidlertid, at deres bidrag i den velfærdsøkonomiske analyse er marginal, hvilket bidragene fra de øvrige stoffer også må antages at ville være, med mindre de i fremtiden værdisættes exceptionelt højt.

5.2.4 Velfærdsøkonomiske konsekvenser

Figur 5.2 viser velfærdsøkonomiske konsekvenser af produktionen og anvendelsen af biobrændstoffer i HS1 og HS2. Tallene angiver konsekvenserne ved at realisere scenarierne ud fra samme års referencesituation. Beregningerne af de velfærdsøkonomiske konsekvenser følger principperne i kapitel 3 og 4, og er en opskalering af konsekvenserne ved at producere et kg biobrændstof til de mængder biobrændstof som scenarierne behøver at opfylde iblandingsprocenterne.

I velfærdsøkonomiske termer opgøres konsekvenserne som nettoresultatet af at fritstille ressourcer samt ved mistet produktionsværdi ved at bevæge sig bort fra referencesituationen. Hertil lægges konsekvenserne ved at bevæge sig hen til scenariesituationen med forbrug af ressourcer og skabelsesværdi.



Figur 5.2 Velfærdsøkonomiske konsekvenser ved HS1 i 65 \$- og 100 \$-varianterne, grafisk.

Negative beløb angiver, at der er tale om en velfærdsøkonomisk omkostning for samfundet, mens positive beløb angiver, at der er tale om en gevinst. Ændringerne reflekterer både referencesituationens udvikling med øget trafikarbejde og scenariernes udvikling med øget biobrændstofblanding. Herunder i tabel 5.6 angives data hørende til graferne.

Tabel 5.6 Velfærdsøkonomiske konsekvenser ved HS1 i 65 \$- og 100 \$-varianterne i mio. kr.

	2010	2015	2020	2025	2030
HS1-65 \$					
RME	-293	-465	-650	-689	-741
1.G.-Ethanol	-120	-90	-76	-69	-61
2.G.-Ethanol	22	85	161	178	202
Total	-391	-471	-565	-580	-600
HS1-100 \$					
RME	80	125	181	215	235
1.G.-Ethanol	64	68	64	59	53
2.G.-Ethanol	46	165	308	340	385
Total	189	358	553	614	673

Det fremgår af graferne og tabellen at der i HS1-65 \$-scenariet er velfærdsøkonomiske tab ved RME og, om end beskedent, ved 1.G.-bioethanol, mens der er gevinst ved 2.G.-bioethanol. Samlet set er der et tab ved at realisere scenariet. Det velfærdsøkonomiske tab ved RME er i høj grad forårsaget af den mistede hvedeproduktion i forhold til den nye rapsproduktion, og altså afhængig af hvedekerners markedspris, som berørt i afsnit 3.3, og som belyses i en følsomhedsanalyse i kapitel 6.

I 100 \$-scenariet er der velfærdsøkonomisk gevinst ved alle tre typer biobrændstof, mest for RME og mindst for 1.G.-bioethanol, hvilket også betyder, at der samlet set er gevinst ved at realisere HS1-100 \$-scenariet.

Tabel 5.7 angiver de beregnede velfærdsøkonomiske omkostninger for reduktion af CO₂.

Tabel 5.7 CO₂-Reduktionsomkostning ved HS1 i 65 \$- og 100 \$-varianterne.

Kr pr. ton CO ₂ eq		2010	2015	2020	2025	2030
HS1-65\$	RME	366	366	362	351	349
	1.G.-ethanol	891	756	706	704	701
	2.G.-ethanol	-347	-393	-406	-410	-410
	Total	409	320	277	263	253
HS1-100\$	RME	-79	-81	-84	-95	-98
	1.G.-ethanol	-385	-480	-505	-513	-514
	2.G.-ethanol	-984	-1021	-1028	-1032	-1032
	Total	-161	-205	-230	-240	-246

Denne rapport regner med en CO₂-kvotepriser på 100 kr. per ton, jf. Energistyrelsen (2009) hvilket svarer til omkring 20 \$ per ton (2008). Var transportsektoren således underlagt kvotesystemet, ville det, ud fra det givne prisniveau, ikke kunne betale sig at reducere CO₂ via RME og 1.G.-bioethanol i 65 \$-scenariet, hvorimod det i 100 \$-scenariet ville være gunstigt for alle tre typer biobrændstof, idet reduktionsomkostningen ville være negativ. Imidlertid er transportsektoren ikke underlagt kvotesystemet ETS (European Trading Scheme), og da omkostningerne ved at reducere CO₂ i høj grad er drevet af reduktioner i transportsektoren, pga. det CO₂-neutrale biobrændstof, skal sammenligningen derfor tages med forbehold. Med en meget højere anslået pris på 500 kr. per ton CO₂ (som der i kapitel 6 er udført en følsomhedsanalyse for), ville CO₂-reduktionen for RME-produktionen blive gunstig – også i 65 \$-varianten, mens det for 1.G.-bioethanol stadig ville være ugunstigt.

Således kan man betragte de udregnede omkostninger som værende dette projekts bud på CO₂-reduktionsomkostningen ved reduktioner i transportsektoren via implementering af biobrændstoffer.

5.3 Illustrativ HS2-scenariefremskrivning

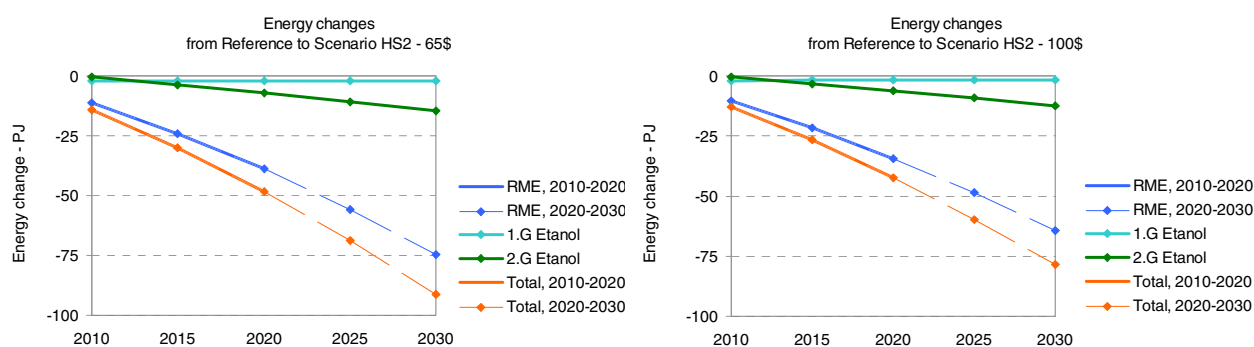
Som det er fremgået af afsnit 5.1, begrænses realiseringen af HS2-scenariet af en maksimumgrænse for dyrkning af raps på danske jorde. Ud over at hidtidig rapsproduktion må medinddrages fra 2020, må der også importeres RME fra 2025 og fremefter.

For 2020 vil det dog være muligt at opfylde efterspørgslen med nyoprettede rapsarealer suppleret med kun en mindre del fra hidtidige rapsarealer, hhv. 18 % og 12 % i HS2-65 \$ og HS2-100 \$. Rapsolie herfra anvendes allerede i dag til produktion af RME som eksporteres til europæiske lande. Konsekvensen af denne supplerende andel er ikke beregnet separat og tildeles derfor samme konsekvensværdier som i grundberegningerne, for at kunne gennemføre fremskrivningen for HS2 i år 2020.

I 2025 vil al hidtidig rapsproduktion skulle indgå i de samlede rapsarealer for RME-produktion, og ydermere vil der skulle suppleres med im-

porteret biodiesel, svarende til hhv. 12 % og 5 % af det samlede rapsarealbehov i HS2-65 \$ og HS2-100 \$. I 2030 vil al hidtidig rapsproduktion ligeledes skulle indregnes og udgøre hhv. 24 % og 27 % af det samlede rapsarealbehov i HS2-65 \$ og HS2-100 \$. Endvidere ville importbehovet svare til hhv. 36 % og 30 % af rapsarealbehovet. Heller ikke konsekvenserne ved importeret RME er beregnet separat. Dette umuliggør seriøse fremskrivninger for 2025 og 2030. Dog er udviklingstendenserne antydnet med stiplede kurver i figur 5.3. Disse tendenser er udregnet, ved at antage at al RME bærer de samme konsekvenser som ved grundberegningerne, men tendenserne skal altså tages med al mulig forbehold.

Figur 5.3 angiver de fossile energiforbrugsmæssige reduktioner der ville opstå for samfundet, hvis HS2 kunne realiseres fuldt ud med nye rapsarealer i Danmark og hvor det med stiplede kurver er angivet, at RME-konsekvenserne efter år 2020, og dermed totalerne, er højest usikre.



Figur 5.3 Fossilenergiforbrugskonsekvenser for HS2 i 65 \$- og 100 \$-varianterne. Bemærk: Fremskrivningerne betegner en fremtidssituation der ikke kan realiseres i 2025-2030 pga. af arealrestriktioner for dyrkning af raps i Danmark. For at opfylde RME-behovet må hidtidige rapsarealer medindregnes foruden supplerende import af RME. Disse er tilknyttet andre konsekvenser end hvad der fremgår af de grundlæggende beregninger i kapitel 3 for RME's WTW-kæde.

Resultaterne vises i tabel 5.8 frem til 2020 for alle tre typer biobrændstof, men kun for 1.G.- og 2.G.-bioethanol for 2025-2030, idet tallene for RME er tilknyttet for stor usikkerhed. Konsekvenserne er også beregnet i forhold til Danmarks samlede fossile energiforbrug i 2008.

Tabel 5.8 Konsekvenser for fossilt energiforbrug i HS2 og sat i forhold til Danmarks samlede fossile energiforbrug i 2008.

		2010	2015	2020	2025	2030	Danmarks fossile energiforbrug 2008	Ændringer i forhold til 2008- situationen, %		
								2010	2020	2030
HS2 - 65\$	RME	-11,3	-24,0	-38,8	n.a.	n.a.		-1,6	-5,4	n.a.
	1.G.-ethanol	-2,2	-2,1	-2,0	-2,1	-2,1		-0,3	-0,3	-0,3
	2.G.-ethanol	-0,6	-4,0	-7,3	-10,8	-14,6		-0,1	-1,0	-2,0
	<i>Total</i>	<i>-14,1</i>	<i>-30,0</i>	<i>-48,2</i>	<i>n.a.</i>	<i>n.a.</i>	721 PJ	-2,0	-6,7	n.a.
HS2 - 100\$	RME	-10,4	-21,6	-34,4	n.a.	n.a.		-1,4	-4,8	n.a.
	1.G.-ethanol	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8		-0,3	-0,2	-0,3
	2.G.-ethanol	-0,5	-3,4	-6,3	-9,3	-12,6		-0,1	-0,9	-1,7
	<i>Total</i>	<i>-12,8</i>	<i>-26,7</i>	<i>-42,4</i>	<i>n.a.</i>	<i>n.a.</i>	721 PJ	-1,8	-5,9	n.a.

Bemærk: Fremskrivningerne betegner en fremtidssituation der ikke kan realiseres i 2025-2030 pga. af arealrestriktioner for dyrkning af raps i Danmark.

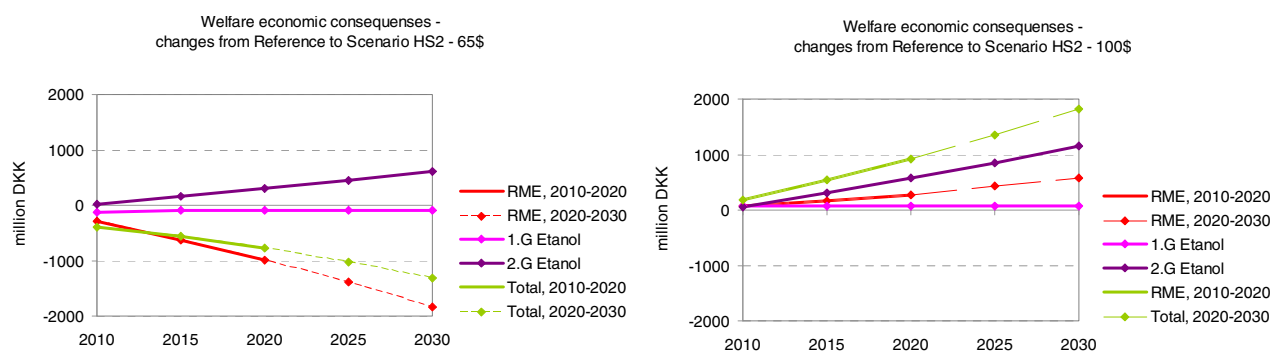
Tabel 5.9 angiver samlede emissionskonsekvenserne i tons og relaterer tallene til Danmarks samlede emissioner i 2008. Der er ikke vist tal for 2025 og 2030, idet RME-andelens mængder ikke kan beregnes.

Tabel 5.9 Emissionsændringer ved biobrændstofs scenarierne HS2 i 65 \$- og 100 \$-varianten, og sat i forhold til Danmarks samlede emissioner 2008.

HS2-65 \$	Emissionskonsekvenser					Danmarks samlede emissioner 2008	Ændringer i forhold til 2008-niveau, %		
	2010	2015	2020	2025*	2030*		2010	2020	2030*
	tons	tons	tons	tons	tons	tons	%	%	%
CO ₂	-1058965	-2210217	-3490483	n.a.	n.a.	51156804	-2,1	-6,8	n.a.
CH ₄	-117	-190	-268	n.a.	n.a.	264713	0,0	-0,1	n.a.
N ₂ O	28	44	71	n.a.	n.a.	21719	0,1	0,3	n.a.
CO ₂ eq	-1051169	-2192310	-3460932	n.a.	n.a.	63448665	-1,7	-5,5	n.a.
NO _x	1052	1243	1294	n.a.	n.a.	151686	0,7	0,9	n.a.
SO ₂	-42	-20	-22	n.a.	n.a.	19605	-0,2	-0,1	n.a.
NM VOC	-222	184	572	n.a.	n.a.	106306	-0,2	0,5	n.a.
CO	859	1354	2007	n.a.	n.a.	435677	0,2	0,5	n.a.
NH ₃	18	-7	-9	n.a.	n.a.	73726	0,0	0,0	n.a.
PMtsp	-90	-104	-93	n.a.	n.a.	44158	-0,2	-0,2	n.a.
HS2-100 \$ CO ₂	-963577	-1973039	-3077405	n.a.	n.a.	51156804	-1,9	-6,0	n.a.
CH ₄	-107	-172	-240	n.a.	n.a.	264713	0,0	-0,1	n.a.
N ₂ O	26	40	63	n.a.	n.a.	21719	0,1	0,3	n.a.
CO ₂ eq	-956417	-1957000	-3051342	n.a.	n.a.	63448665	-1,5	-4,8	n.a.
NO _x	945	1123	1174	n.a.	n.a.	151686	0,6	0,8	n.a.
SO ₂	-38	-20	-23	n.a.	n.a.	19605	-0,2	-0,1	n.a.
NM VOC	-192	158	484	n.a.	n.a.	106306	-0,2	0,5	n.a.
CO	724	1127	1663	n.a.	n.a.	435677	0,2	0,4	n.a.
NH ₃	21	13	20	n.a.	n.a.	73726	0,0	0,0	n.a.
PMtsp	-82	-91	-80	n.a.	n.a.	44158	-0,2	-0,2	n.a.

* Da RME's andel af den samlede mængde biobrændstof ikke kan realiseres uden import, er tallene for 2025 og 2030 udeladt.

Graferne i figur 5.4, angiver de velfærdsøkonomiske konsekvenser, hvis det havde været muligt at realisere HS2 fuldt ud med nye rapsarealer i Danmark.



Figur 5.4 Velfærdsøkonomiske konsekvenser for HS1 og HS2 i 65 \$- og 100 \$-varianterne. Bemærk: Fremskrivningerne betegner en fremtidssituation der ikke kan realiseres i 2025-2030 pga. af arealrestriktioner for dyrkning af raps i Danmark.

I tabel 5.10 vises tilsvarende data, frem til 2020 for alle tre typer biobrændstof og kun for 1.G. og 2.G. for 2025-2030, idet tallene for RME ikke kan beregnes.

Tabel 5.10 Velfærdsøkonomiske konsekvenser ved HS2 i 65 \$- og 100 \$-varianterne, data.

Ændringer i forhold til referencetilstand		2010	2015	2020	2025	2030
Hovedscenario 1	RME	-293	-623	-997	n.a.	n.a.
	1.G.-ethanol	-120	-92	-85	-85	-86
	2.G.-ethanol	22	159	300	448	607
	Total	-391	-556	-783	n.a.	n.a.
Hovedscenario 2	RME, 2015-2030	80	168	278	n.a.	n.a.
	1.G.-ethanol	64	69	72	73	75
	2.G.-ethanol	46	309	572	853	1155
	Total, 2015-2030	189	546	922	n.a.	n.a.

Bemærk: Fremskrivningerne betegner en fremtidssituation der ikke kan realiseres i 2025-2030 pga. af arealrestriktioner for dyrkning af raps i Danmark.

Table 5.11 angiver CO₂-reduktionsomkostningerne undtaget for RME i 2025-2030 og således undtaget totalerne.

Tabel 5.11 CO₂-reduktionsomkostninger ved HS2 i 65 \$- og 100 \$-varianterne.

Kr. pr. ton CO ₂ eq		2010	2015	2020	2025	2030
HS2-65 \$	RME	366	366	362	n.a.	n.a.
	1.G.-ethanol	891	756	706	704	701
	2.G.-ethanol	-347	-393	-406	-410	-410
	Total	409	308	290	n.a.	n.a.
HS2-100 \$	RME -chg	-79	-81	-84	n.a.	n.a.
	1.G.-ethanol -chg	-385	-480	-505	-513	-514
	2.G.-ethanol -chg	-984	-1021	-1028	-1032	-1032
	Total	-161	-204	-204	n.a.	n.a.

Bemærk: Fremskrivningerne betegner en fremtidssituation der ikke kan realiseres i 2025-2030 pga. af arealrestriktioner for dyrkning af raps i Danmark.

CO₂-reduktionsomkostningerne for de enkelte brændstoffer er den samme som i HS1-scenarievarianterne, mens de gennemsnitlige totaler bliver anderledes pga. forskellig sammensætninger af de tre biobrændstoffer.

5.4 Sammen drag om scenariefremskrivningerne

Den simple opskalermetode, der er valgt i dette kapitel for at illustrere den fremtidige scenarieudvikling, betyder, at der ikke tages højde for teknologiske ændringer og dynamiske effekter af at udvide produktionen. Disse illustrative fremskrivninger indikerer dog proportionerne i konsekvenserne ved at implementere biobrændstofblandinger på op til 10 % i HS1-scenarievarianterne, og op til omkring 15 % i år 2020 i HS2-scenarievarianterne. For at opfylde HS2 i årene 2025-2030 kræves supplerende RME-import, hvilket der ikke er regnet på i dette projekt som fokuserer på dansk dyrket biomasse til biobrændstofproduktionen.

6 Følsomhedsanalyser af HS1-scenarierne

Der er udført en række følsomhedsanalyser af HS1-scenariets resultater ved ændring af et element ad gangen. Formålet med analyserne er at illustrere usikkerheden der ligger bag resultaterne og de konkrete antagelser, og samtidig belyse de væsentligste faktorer som påvirker resultaterne. HS2-scenariet - der ikke kan opfyldes med dansk produceret RME - er der ikke foretaget følsomhedsanalyser for, men i 2010 vil resultaterne være identisk med resultaterne for HS1, da der her er tale om samme iblandingsforhold af biobrændstoffer.

Følsomhedsanalysernes resultater vises i procent af Danmarks samlede fossile energiforbrug (721 PJ) og CO₂eq-emissioner (63,4 mio. tons) for år 2008 hvad angår fossilt energiforbrug og CO₂eq-emissionsreduktioner. De velfærdsøkonomiske konsekvenser angives i samlet gevinst (positive værdier) eller tab (negative værdier), og belyses yderligere ved CO₂-reduktionsomkostningerne, der er udregnet som de velfærdsøkonomiske konsekvenser per reduceret ton CO₂eq, hvor værdien af emissionskonsekvenserne er fraregnet. Her angiver positive værdier omkostninger, mens negative værdier angiver besparelser.

6.1 Følsomhedsanalyse: "75 % halmbrændsel"

I det basale referencescenarie er den gennemgående landbrugsafgrøde vinterhvede og dennes halm. Referencen udtrykker halms anvendelsesformål i gennemsnit for 2006-08, jf. Danmarks Statistik, hvor 26 % går til forbrænding, 41 % nedmuldes, 20 % anvendes som foder og 12 % som strøelse.

I følsomhedsscenariet "75 % -halmbrændsel" antages at yderligere 50 % af hvedehalmen (dvs. i alt ca. 75 % i referencesituationen) går til kraftværksforbrænding. Herved får en større andel halm en energimæssig og økonomisk værdi som den ikke har i basisreferencen for HS1. Dette betyder, at i scenariesituationen vil den halm der anvendes til 2.G.-bioethanol ikke længere være at betragte som en fri ressource, men tilknyttet en markedsværdi. Tilsvarende antages det, at kun 75 % rapshalm - og ikke 100 % - i scenarietilstanden har en nytteværdi som brændsel.

Tabel 6.1 viser konsekvenserne ved følsomhedsvarianten i forhold til de basale scenarieberegninger for 2010 og 2030.

Generelt viser "75 % halmbrændsel" følsomhedsscenariet at antagelserne om halmens udnyttelse i reference- og scenarietilstanden reducerer fordelagtigheden ved biobrændstofferne. Det fossile energiforbrug nedbringes nu i mindre grad og det samme gælder for CO₂eq-reduktionerne. Ændringerne har kun konsekvenser for RME og 2.G.-bioethanol.

Tabel 6.1 "75 % halmbrændsel" følsomhedsvariant sammenlignet med HS1: De energimæssige og emissionsmæssige konsekvenser er beregnet i procent i forhold til Danmarks samlede fossile energiforbrug og CO₂eq-emissioner. De samlede velfærdsøkonomiske konsekvenser udtrykkes med positive værdier for gevinst og negative værdier for tab. CO₂-reduktionsomkostningerne udtrykkes med positive værdier for omkostning og negative værdier for besparelser.

	RME		1.G.-bioethanol		2.G.-bioethanol		Total	
	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2010	2030
HS1	%							
Fossilt Energiforbrug, 65 \$	-1,6	-4,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,7	-2,0	-5,1
Fossilt Energiforbrug, 100 \$	-1,4	-3,6	-0,3	-0,2	-0,1	-0,6	-1,8	-4,3
CO ₂ eq-emissioner, 65 \$	-1,3	-3,6	-0,2	-0,2	-0,1	-0,6	-1,7	-4,4
CO ₂ eq-emissioner, 100 \$	-1,2	-3,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,5	-1,5	-3,8
HS1								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	-293	-741	-120	-61	22	202	-391	-600
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	80	235	64	53	46	385	189	673
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	366	349	891	701	-347	-410	409	253
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	-79	-98	-385	-514	-984	-1032	-161	-246
"75 % halmbrændsel"	%							
Fossilt Energiforbrug, 65 \$	-0,7	-1,9	-0,3	-0,2	0,1	0,8	-0,9	-1,3
Fossilt Energiforbrug, 100 \$	-0,6	-1,6	-0,3	-0,2	0,1	0,7	-0,8	-1,1
CO ₂ eq-emissioner, 65 \$	-0,5	-1,3	-0,2	-0,2	0,1	0,8	-0,6	-0,6
CO ₂ eq-emissioner, 100 \$	-0,4	-1,1	-0,2	-0,1	0,1	0,7	-0,6	-0,6
"75 % halmbrændsel"								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	-507	-1314	-120	-61	-15	-89	-642	-1463
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	-118	-257	64	53	14	135	-40	-70
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	1529	1481	891	701	*	*	1589	3465
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	300	249	-385	-514	*	*	70	89

* Idet emissionerne øges i denne følsomhedssituation, giver det ikke nogen mening at tale om omkostningerne ved at reducere CO₂.

Det bemærkes at 2.G.-bioethanolproduktionen vil medføre øget fossilt energiforbrug i denne følsomhedssituation, hvilket skyldes at de 75 % hvedehalm, der i referencesituationen antages forbrændt på kraftværker og uden CO₂-emissioner, pga. CO₂-neutralitet, i scenariesituationen, erstattes med fossilt kul der emitterer store mængder CO₂. Med de øgede CO₂-emissioner giver det ikke mening at beregne omkostningerne ved at reducere CO₂. Dog reflekteres forholdet i scenariets totale reduktionsomkostninger, der bliver ret høje, netop fordi CO₂-forøgelserne modarbejder reduktionerne ved RME og 1.G.

6.2 Følsomhedsanalyse: "75 % referenceudbytte"

For at illustrere en situation hvor det ikke er foderhvedemarker der indtages til fordel for rapsfrø, men en anden mindre givende afgrødetype, som f.eks. byg, foretages en følsomhedsanalyse, hvor det antages at kerne- og halmudbyttet kun er 75 % af hvad der regnes med i referencescenariet. Andre parametre holdes konstante; dette betyder også at kiloprisen på kornet antages uændret, ligesom halmudbyttet antages uændret.

Tabel 6.2 viser de overordnede konsekvenser ved følsomhedsvarianten for 2010 og 2030, i forhold til den basale scenarieberegning HS1.

Tabel 6.2 "75% referenceudbytte" følsomhedsvariant sammenlignet med HS1: De energimæssige og emissionsmæssige konsekvenser er beregnet i procent i forhold til Danmarks samlede fossile energiforbrug og CO₂eq-emissioner. De samlede velfærdsøkonomiske konsekvenser udtrykkes med positive værdier for gevinst og negative værdier for tab. CO₂-reduktionsomkostningerne udtrykkes med positive værdier for omkostning og negative værdier for besparelser.

	RME		1.G.-bioethanol		2.G.-bioethanol		Total	
	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2010	2030
HS1	%							
Fossilt Energiforbrug, 65 \$	-1,6	-4,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,7	-2,0	-5,1
Fossilt Energiforbrug, 100 \$	-1,4	-3,6	-0,3	-0,2	-0,1	-0,6	-1,8	-4,3
CO ₂ eq-emissioner, 65 \$	-1,3	-3,6	-0,2	-0,2	-0,1	-0,6	-1,7	-4,4
CO ₂ eq-emissioner, 100\$	-1,2	-3,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,5	-1,5	-3,8
HS1								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	-293	-741	-120	-61	22	202	-391	-600
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	80	235	64	53	46	385	189	673
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	366	349	891	701	-347	-410	409	253
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	-79	-98	-385	-514	-984	-1032	-161	-246
"75 % referenceudbytte "	%							
Fossilt Energiforbrug, 65 \$	-1,6	-4,4	-0,3	-0,2	-0,1	-0,7	-2,0	-5,3
Fossilt Energiforbrug, 100 \$	-1,5	-3,8	-0,3	-0,2	-0,1	-0,6	-1,9	-4,5
CO ₂ eq-emissioner, 65 \$	-1,4	-3,8	-0,2	-0,2	-0,1	-0,6	-1,7	-4,6
CO ₂ eq-emissioner, 100 \$	-1,3	-3,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,5	-1,6	-3,9
"75 % referenceudbytte "								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	69	225	-120	-61	22	203	-29	367
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	412	1067	64	53	46	386	522	1505
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	-49	-66	891	701	-348	-410	67	-87
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	-469	-487	-385	-514	-982	-1030	-479	-561

Som det fremgår, er det først og fremmest med hensyn til velfærdsøkonomiske konsekvenser at der er forskelle. Det bliver mere fordelagtigt at producere og anvende biobrændstof. Det skyldes, at det landbrugsmæssige tab ved at producere raps til RME-produktionen reduceres, når værdien af den mistede afgrøde er blevet mindre. Både de velfærdsøkonomiske konsekvenser og CO₂-reduktionsomkostningerne for 1.G.- og 2.G.-bioethanol forbliver de samme som i HS1-scenariet, hvilket skyldes at omkostninger i landbruget per kg korn øges lige meget i både referenc- og scenariosituationen, hvilket fører til uændrede konsekvenser.

Energi- og CO₂-emissionsreduktionernes ændringer i følsomhedsvarianten er minimale, men i gunstig retning.

6.3 Følsomhedsanalyse: "Integreret produktionsenergi"

Som allerede belyst er 2.G.-bioethanol særdeles følsom over for givne produktionsforhold og scenarieantagelser. Dette er en væsentlig grund til at man ved 2.G.-bioethanolproduktion tænker i integrerede løsninger, hvor overskudsenergi fra f.eks. kraftvarmeproduktion anvendes i bioethanolkonverteringsprocessen. Dette er eksemplificeret i den såkaldte IBUS-løsning som DONG Energy har valgt til deres ny demonstrationsanlæg i Kalundborg, som modtager overskudsvarme fra kraftvarmeverket Asnæsværket.

Følsomhedsanalysen "Integreret produktionsenergi" undersøger effekten af at anvende overskudsvarme i 2.G.-bioethanolkonverteringsprocessen, baseret på angivelser i Hedegaard Jensen & Thyø (2007). An-

vendelsen af overskudsvarme tænkes ikke at være gratis energimæssigt, men den energi, kul, der antages anvendt til at producere den, reduceres, idet varmen først har været anvendt til at drive dampmaskiner i kraftvarmeværket. I ovennævnte reference sættes overskudsvarme fra et kraftvarmeværk til at kræve 0,6 GJ kul per GJ dampenergi. Tabel 6.3 viser de overordnede konsekvenser ved følsomhedsvarianten for år 2010 og 2030 i forhold til de basale HS1-scenarieregninger. Som det fremgår, er der ikke den store forskel med hensyn til konsekvenserne i totalerne, fordi de gunstige ændringer for 2.G.-bioethanol kun slår svagt igennem.

Tabel 6.3 "Integreret produktionsenergi" følsomhedsvariant sammenlignet med HS1: De energimæssige og emissionsmæssige konsekvenser er beregnet i procent i forhold til Danmarks samlede fossile energiforbrug og CO₂eq-emissioner. De samlede velfærdsøkonomiske konsekvenser udtrykkes med positive værdier for gevinst og negative værdier for tab. CO₂-reduktionsomkostningerne udtrykkes med positive værdier for omkostning og negative værdier for besparelser.

	RME		1.G.-bioethanol		2.G.-bioethanol		Total	
	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2010	2030
HS1	%							
Fossil Energiforbrug, 65 \$	-1,6	-4,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,7	-2,0	-5,1
Fossil Energiforbrug, 100 \$	-1,4	-3,6	-0,3	-0,2	-0,1	-0,6	-1,8	-4,3
CO ₂ eq-emissioner, 65 \$	-1,3	-3,6	-0,2	-0,2	-0,1	-0,6	-1,7	-4,4
CO ₂ eq-emissioner, 100 \$	-1,2	-3,	-0,2	-0,1	-0,1	-0,5	-1,5	-3,8
HS1	.							
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	-293	-741	-120	-61	22	202	-391	-600
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	80	235	64	53	46	385	189	673
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	366	349	891	701	-347	-410	409	253
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	-79	-98	-385	-514	-984	-1032	-161	-246
"Integreret produktionsenergi"	%							
Fossil Energiforbrug, 65 \$	-1,6	-4,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,9	-2,0	-5,3
Fossil Energiforbrug, 100\$	-1,4	-3,6	-0,3	-0,2	-0,1	-0,8	-1,8	-4,5
CO ₂ eq-emissioner, 65 \$	-1,3	-3,6	-0,2	-0,2	-0,1	-0,8	-1,7	-4,6
CO ₂ eq-emissioner, 100 \$	-1,2	-3,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,7	-1,5	-3,9
"Integreret produktionsenergi"	.							
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	-293	-741	-120	-61	28	254	-384	-548
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	80	235	64	53	53	442	196	730
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	366	349	891	701	-326	-373	398	228
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	-79	-98	-385	-514	-817	-856	-164	-252

De to andre typer værker til produktion af RME og 1.G.-bioethanol, kunne lige så vel, med fordel, indgå i integrerede løsninger, men fokus er her lagt på 2.G.-bioethanol fordi det er her, man har problemer med at opnå positive energibalancer.

6.4 Følsomhedsanalyse: "Enzympris 200 %"

Denne følsomhedsanalyse belyser den dobbelte enzympris i forhold til i hovedscenerierne, hvilket kun påvirker 2.G.-bioethanolproduktionen. De anvendte enzympriser i hovedscenerierne er baseret på Hedegaard Jensen & Thyø (2007), hvor priserne var sat efter et optimistisk skøn, under indtryk af stor usikkerhed. Denne pris for 2010 er 0,57 kr. per liter bioethanol. Ifølge data fra Novozymes (2009), der producerer enzymer til 2.G.-bioethanolanlæg, var deres gennemsnitspris på verdensplan i 2009 ca. 1,5 \$ per gallon produceret bioethanol, hvilket svarer til 2,0 kr. per liter (2008 valutakurs). Forventet pris i 2010 er på 0,9 \$ per gallon svarende

til 1,2 kr. per liter, eller ca. 200 % af ovennævnte pris. Ligesom for hovedscenariets vedkommende sænkes prisen ikke over årene.

Tabel 6.4 "Enzympris 200 %" følsomhedsvariant sammenlignet med HS1: De samlede velfærdsøkonomiske konsekvenser udtrykkes med positive værdier for gevinst og negative værdier for tab. CO₂-reduktionsomkostningerne udtrykkes med positive værdier for omkostning og negative værdier for besparelser.

	RME		1.G.-bioethanol		2.G.-bioethanol		Total	
	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2010	2030
HS1								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	-293	-741	-120	-61	22	202	-391	-600
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	80	235	64	53	46	385	189	673
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	366	349	891	701	-347	-410	409	253
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	-79	-98	-385	-514	-984	-1032	-161	-246
" Enzympris 200 %"								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	-293	-741	-120	-61	9	100	-404	-703
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	80	235	64	53	35	297	178	585
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	366	349	891	701	-82	-151	421	290
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	-79	-98	-385	-514	-718	-773	-149	-209

Tabel 6.4 viser de overordnede konsekvenser ved følsomhedsvarianten for år 2010 og 2030, i forhold til de basale scenarieberegninger. Som forventet sker der kun ændringer med hensyn til de velfærdsøkonomiske konsekvenser, bestemt af ændringerne ved 2.G.-bioethanolproduktionen.

Resultatet illustrer, at prisen på enzymer har en væsentlig indflydelse på det samlede velfærdsøkonomiske resultat specifikt for 2.G.-bioethanolproduktionen, om end ikke en afgørende betydning for, om det er økonomisk fordelagtig for samfundet at realisere 2.G.-bioethanolscenarierne, idet CO₂-reduktionsomkostningerne forbliver negative. Dette belyses også af, at der tilsyneladende er en noget fleksibel prissætning af enzymerne fra leverandørens side, afhængig af det givne konverteringsanlægs samlede økonomiske bæredygtighed.

6.5 Følsomhedsanalyse: "150 % emissionspris"

Følsomhedsanalysen "150 % emissionspris" indebærer, at alle de hidtil anvendte beregningspriser for emissioner øges med 50 %. Følsomhedsanalysen er begrundet i, at den velfærdsøkonomiske prissætning af emissioner er vanskelig, og nuværende tal baserer sig på forhold der meget vel kan ændre sig. Analysen omfatter kun luftemissionerne CO₂, CH₄, N₂O, NO_x og SO₂ og således ikke udvasket kvælstof fra landbrugsjorden.

Tabel 6.5 "150 % emissionspris" følsomhedsvariant sammenlignet med HS1: De samlede velfærdsøkonomiske konsekvenser udtrykkes med positive værdier for gevinst og negative værdier for tab. CO₂-reduktionsomkostningerne udtrykkes med positive værdier for omkostning og negative værdier for besparelser.

	RME		1.G.-bioethanol		2.G.-bioethanol		Total	
	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2010	2030
HS1								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	-293	-741	-120	-61	22	202	-391	-600
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	80	235	64	53	46	385	189	673
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	366	349	891	701	-347	-410	409	253
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	-79	-98	-385	-514	-984	-1032	-161	-246
"150 % emissionspris"								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	-258	-629	-125	-57	21	206	-363	-481
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	111	331	59	56	45	388	215	776
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	376	349	976	708	-269	-369	433	260
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	-69	-97	-300	-507	-905	-991	-138	-239

Tabel 6.5 viser de overordnede konsekvenser ved følsomhedsanalysen for år 2010 og 2030 i forhold til de basale scenarieberegninger. Som forventet sker der kun ændringer med hensyn til velfærdsøkonomiske konsekvenser og således også med hensyn til CO₂-reduktionsomkostningen.

Værdien af emissioner indgår som et højest usikkert element i de samlede beregninger. Dels fordi ikke alle emissionerne er prissat og dels fordi selve prisen for de emissioner der er beregnet for, er at betragte som usikre (jf. Møller & Slentø, 2010). I næste følsomhedsanalyse undersøges specifikt en 500 % højere CO₂-emissionspris.

6.6 Følsomhedsanalyse: "CO₂-pris 500 %"

Tabel 6.6 undersøger konsekvensen af en 5 gange højere CO₂eq-pris end den valgte i hovedscenarierne. Dette hænger sammen med at prisen på CO₂eq-emissioner er valgt ud fra kvoteprisen i det europæiske ETS-system, som kun gælder for kvotebelagte sektorer, hvilket primært er energisektoren. Transportsektoren er derimod ikke omfattet af kvotelovgivningen, og såfremt der skal foretages reelle CO₂-reduktioner i denne sektor, estimerer forskellige kilder højere pris, se Møller & Slentø (2010). Det vælges at undersøge konsekvensen af en CO₂-pris på 500 kr. per ton.

Tabel 6.6 "CO₂-pris 500 %" følsomhedsvariant sammenlignet med HS1: De samlede velfærdsøkonomiske konsekvenser udtrykkes med positive værdier for gevinst og negative værdier for tab. CO₂-reduktionsomkostningerne udtrykkes med positive værdier for omkostning og negative værdier for besparelser.

	RME		1.G.-bioethanol		2.G.-bioethanol		Total	
	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2010	2030
HS1								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	-293	-741	-120	-61	22	202	-391	-600
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	80	235	64	53	46	385	189	673
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	366	349	891	701	-347	-410	409	253
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	-79	-98	-385	-514	-984	-1032	-161	-246
"CO ₂ -pris 500 %"								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	48	167	-59	-21	42	366	30	513
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	393	1017	116	87	63	526	572	1630
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	366	349	891	682	-347	-420	409	251
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	-79	-98	-385	-533	-984	-1041	-161	-248

Som det fremgår, ændrer billedet sig temmelig dramatisk med hensyn til de velfærdsøkonomiske konsekvenser, nu hvor både realiseringen af 65 \$-scenariet og 100 \$-scenariet vil give økonomisk gevinst for samfundet. Selvsagt ændrer CO₂-reduktionsomkostningerne sig ikke, idet emissionskonsekvenserne her er fraregnet de velfærdsøkonomiske konsekvenser. Som det fremgår, er de beregnede totale CO₂-reduktionsomkostninger alle under 500 kr. per tons. Derfor vil det med en CO₂eq-pris på 500 kr. per ton kunne betale sig at realisere scenarierne, om end det for 1.G.-bioethanol separat er en dårlig ide i 65 \$-varianten.

6.7 Følsomhedsanalyse: "Halmpris 125 %"

Halmprisen har en vægtig indflydelse på regnskabet, og i denne analyse er her undersøgt konsekvensen af 25 % højere priser på hvede- og raps-halm, der antages at følges ad. En laverer halmpris forekommer med den stigende efterspørgsel på halm ikke realistisk. En højere halmpris indebærer, at værdien af halmens kulstoffortrængning øges.

Tabel 6.7 "Halmpris 125 %" følsomhedsvariant sammenlignet med HS1: De samlede velfærdsøkonomiske konsekvenser udtrykkes med positive værdier for gevinst og negative værdier for tab. CO₂-reduktionsomkostningerne udtrykkes med positive værdier for omkostning og negative værdier for besparelser.

	RME		1.G.-bioethanol		2.G.-bioethanol		Total	
	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2010	2030
HS1								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	-293	-741	-120	-61	22	202	-391	-600
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	80	235	64	53	46	385	189	673
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	366	349	891	701	-347	-410	409	253
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	-79	-98	-385	-514	-984	-1032	-161	-246
"Halmpris 125 %"								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	-263	-661	-120	-61	22	202	-361	-520
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	107	304	64	53	46	385	217	742
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	331	313	891	701	-347	-410	380	224
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	-115	-133	-385	-514	-984	-1032	-190	-275

Som det fremgår af tabel 6.7, ændres velfærdsøkonomisk tab og gevinst ikke dramatisk. Det er kun biobrændstoffet RME, der medvirker til et ændret resultat ved en 25 % højere halmpris, hvilket skyldes at den halm der i referencesituationen går til kraftværker, også gør det i scenariesitu-

ationerne, hvad angår 1.G.- og 2.G.-bioethanol. Endvidere er halmen, der anvendes til 2.G.-bioethanolproduktionen, antaget at være gratis i de grundlæggende HS1-scenarier, hvorfor en ændret halmpris heller ikke her får indflydelse.

6.8 Følsomhedsanalyse: "Hvedekernepris +/- 35 %"

Hvor halmprisen antages mest realistisk kun at ville stige, er det mere realistisk at den nuværende pris på foderhvede kan falde, afhængig af udbuddet på verdensmarkedet. Faktisk er den anvendte pris i HS1-scenariet på 1145 kr. per ton fra 2008 faldet primo 2010 til omkring 800 kr. per ton, men begyndt at stige igen medio 2010. Der undersøges i denne følsomhedsanalyse 35 % lavere, men også 35 % højere, priser på foderhvede.

Som det fremgår af tabel 6.8 ændrer de velfærdsøkonomiske konsekvenser sig markant ved 35 % lavere hvedepriser. De samlede tab i 65 \$-scenariet ændres til gevinst og gevinsten i 100 \$-scenariet øges markant.

Tabel 6.8 "Hvedekernepris 35 % lavere" følsomhedsvariant sammenlignet med HS1: De samlede velfærdsøkonomiske konsekvenser udtrykkes med positive værdier for gevinst og negative værdier for tab. CO₂-reduktionsomkostningerne udtrykkes med positive værdier for omkostning og negative værdier for besparelser.

	RME		1.G.-bioethanol		2.G.-bioethanol		Total	
	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2010	2030
HS1								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	-293	-741	-120	-61	22	202	-391	-600
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	80	235	64	53	46	385	189	673
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	366	349	891	701	-347	-410	409	253
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	-79	-98	-385	-514	-984	-1032	-161	-246
"Hvedekernepris 35 % lavere"								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	199	571	79	65	14	140	291	776
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	532	1365	236	161	39	331	806	1857
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	-211	-229	-419	-546	-187	-254	-240	-244
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	-657	-676	-1694	-1760	-824	-876	-806	-744

Alle tre typer biobrændstof øver indflydelse på disse ændringer. For RME og 1.G.-bioethanol skyldes det, at der mistes foderhvede fra referencesituationen, og for 2.G.-bioethanol, skyldes det, at biproduktet mellasses pris er fastsat efter prisen på hvede, som den antages at substituere på markedet.

Tabel 6.9 viser resultatet af 35 % højere hvedepriser. En sådan situation er ikke umiddelbart realistisk, men kan blive det i fremtiden med stigende efterspørgsel og stigende fossile energipriser.

Tabel 6.9 "Hvedekernepris 35 % højere" følsomhedsvariant sammenlignet med HS1: De samlede velfærdsøkonomiske konsekvenser udtrykkes med positive værdier for gevinst og negative værdier for tab. CO₂-reduktionsomkostningerne udtrykkes med positive værdier for omkostning og negative værdier for besparelser.

	RME		1.G.-bioethanol		2.G.-bioethanol		Total	
	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2010	2030
HS1								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	-293	-741	-120	-61	22	202	-391	-600
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	80	235	64	53	46	385	189	673
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	366	349	891	701	-347	-410	409	253
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	-79	-98	-385	-514	-984	-1032	-161	-246
"Hvedekernepris 35 % højere"								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	-784	-2053	-319	-187	30	264	-1073	-1976
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	-372	-894	-108	-55	52	438	-428	-512
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	944	926	2201	1948	-508	-567	1058	750
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	498	480	925	733	-1144	-1189	484	251

Resultatet er, at biobrændstofs scenariet HS1 bliver særdeles ufordelagtigt at realisere med hensyn velfærdsøkonomiske resultater, til trods for at gevinsten faktisk øges for 2.G.-bioethanol, pga. biproduktet melasse, der som nævnt ovenfor substituerer foderhveden og således følger dennes pris.

6.9 Følsomhedsanalyse: "Rapskagepris +/- 25 %"

Endelig er der foretaget en følsomhedsanalyse for prisen på rapskage på hhv. 25 % over eller under den centrale pris. Tabel 6.10 viser følsomhedsanalysen for en rapskagepris på 25 % lavere end den centrale pris. Prisændringerne får konsekvens for prisen på sojaskrå, som rapskage er linket til.

Tabel 6.10 "Rapskagepris 25 % lavere" følsomhedsvariant sammenlignet med HS1: De samlede velfærdsøkonomiske konsekvenser udtrykkes med positive værdier for gevinst og negative værdier for tab. CO₂-reduktionsomkostningerne udtrykkes med positive værdier for omkostning og negative værdier for besparelser.

	RME		1.G. bioeth.		2.G. bioeth		Total	
	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2010	2030
HS1								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65\$	-293	-741	-120	-61	22	202	-391	-600
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100\$	80	235	64	53	46	385	189	673
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65\$	366	349	891	701	-347	-410	409	253
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100\$	-79	-98	-385	-514	-984	-1032	-161	-246
" Rapskagepris 25 % lavere "								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65\$	-397	-1019	-156	-84	22	202	-531	-901
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100\$	-16	-4	33	33	46	385	62	414
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65\$	488	471	1128	926	-347	-410	542	362
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100\$	43	24	-148	-288	-984	-1032	-28	-138

Det fremgår, at CO₂-reduktionsomkostningen for RME-relaterede CO₂-reduktioner øges noget i både 65 \$-varianten og 100 \$-varianten, hvilket tilsvarende påvirker totalerne. Også den 1.G.-bioethanolrelaterede CO₂-reduktionsomkostning stiger, hvilket skyldes at rapskagen får effekt på sojaskrås pris, som igen får effekt på biproduktet DDGS der substituerer denne.

Tabel 6.11 viser tilsvarende en følsomhedsanalyse for rapskagepris på 25 % højere end det centrale skøn. Her falder CO₂-reduktionsomkostningen

for RME-relaterede CO₂-emissioner, hvilket også er tilfældet mht. 1.G.-bioethanol, med samme begrundelse som ovenfor.

Tabel 6.11 "Rapskagepris 25 % højere" følsomhedsvariant sammenlignet med HS1: De samlede velfærdsøkonomiske konsekvenser udtrykkes med positive værdier for gevinst og negative værdier for tab. CO₂-reduktionsomkostning udtrykkes med positive værdier for omkostning og negative værdier for besparelser.

	RME		1.G.-bioethanol		2.G.-bioethanol		Total	
	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2010	2030
HS1								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	-293	-741	-120	-61	22	202	-391	-600
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	80	235	64	53	46	385	189	673
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	366	349	891	701	-347	-410	409	253
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	-79	-98	-385	-514	-984	-1032	-161	-246
" Rapskagepris 25 % højere "								
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 65 \$	-189	-463	-84	-38	22	202	-251	-300
Velfærdsøkonomisk gevinst/tab (mio. kr.), 100 \$	175	474	95	72	46	385	316	931
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 65 \$	244	226	655	476	-347	-410	276	145
CO ₂ -reduktionsomkostning (kr. pr. ton CO ₂ eq), 100 \$	-201	-220	-621	-739	-984	-1032	-294	-355

7 Sammen drag, vurdering og diskussion af resultater

Herværende rapport dækker over et delstudie under projektet REBECA. Rapporten analyserer tre udvalgte typer biobrændstoffers fordelagtighed for det danske samfund, forudsat at de stammer fra dansk producerede afgrøder og konverteres på danske fabrikker.

7.1 Oversigt over samfundsmæssige konsekvenser

Tabel 7.1 viser i oversigt konsekvenserne for hovedscenarierne HS1 og HS2 i 65 \$- og 100 \$-varianterne med hensyn til fossil energiforbrug, CO₂eq-emissioner og velfærdsøkonomisk fordelagtighed. Tallene er vist for 2010, 2020 og 2030 for HS1-situationen. For HS2-situationen er der ikke angivet data for 2030, da det pga. arealbegrænsninger for rapsdyrking, ikke kan realiseres uden supplerende import.

Tabel 7.1 Energimæssige, emissionsmæssige og velfærdsøkonomiske konsekvenser ved realisering af HS1 og HS2 i 65 \$ og 100 \$-varianten, angivet i procent i forhold til referencesituationen.

	HS1			HS2		
	2010	2020	2030	2010	2020	2030*
65 \$-variant			%			
Fossil energiforbrugsændring i forhold til referencesituationens fossile energiforbrug pr. enhed biobrændstof	-61	-60	-60	-61	-60	n.a.
Fossil energiforbrugsændring i forhold samlet dansk fossilt energiforbrug på 721 PJ i 2008	-2	-4	-5	-2	-7	n.a.
CO ₂ eq-emissionsfortrængning i forhold til referencesituation pr enhed biobrændstof	-59	-57	-57	-59	-57	n.a.
CO ₂ eq-emissionsændringer i forhold til Danmarks samlede emissioner 2008	-2	-4	-4	-2	-6	n.a.
Velfærdsøkonomisk gevinst	-391 mio. kr.	-565 mio. kr.	-600 mio. kr.	-391 mio. kr.	-783 mio. kr.	n.a.
CO ₂ -reduktionsomkostning pr ton CO ₂ eq	409 kr. pr. ton	277 kr. pr. ton	253 kr. pr. ton	409 kr. pr. ton	290 kr. pr. ton	n.a.
100 \$-variant			%			
Fossil energiforbrugsændring i forhold til referencesituationens fossile energiforbrug pr. enhed biobrændstof	-61	-59	-59	-61	-59	n.a.
Fossil energiforbrugsændring i forhold samlet dansk fossilt energiforbrug på 721 PJ i 2008	-2	-4	-4	-2	-6	n.a.
CO ₂ eq-emissionsfortrængning i forhold til referencesituation pr enhed biobrændstof	-59	-57	-57	-59	-57	n.a.
CO ₂ eq-emissionsændringer i forhold til Danmarks samlede CO ₂ eq-emissioner 2008	-2	-3	-4	-2	-5	n.a.
Velfærdsøkonomisk gevinst	189 mio. kr.	553 mio. kr.	673 mio. kr.	189 mio. kr.	922 mio. kr.	n.a.
CO ₂ -reduktionsomkostning pr. ton CO ₂ eq	-161 kr. pr. ton	-230 kr. pr. ton	-246 kr. pr. ton	-161 kr. pr. ton	-204 kr. pr. ton	n.a.

* Værdier for 2030 præsenteres ikke pga. for stor usikkerhed (= n.a.).

HS2-situationen i 2020 kan i overvejende grad realiseres ved nyoprettede marker, og med en mindre andel af de hidtidige rapsmarkers udbytte, hvilke udgør 12 % for HS2-100 \$-varianten og 18 % for HS2-65 \$-varianten. Da konsekvenser ved at benytte raps fra hidtidige rapsmar-

ker, ikke er beregnet, anvendes resultaterne fra den grundlæggende konsekvensberegning ved at producere RME fra rapsmarker der afløser hvedemarker jf. kapitel 5.2.

7.1.1 Energiforbrugskonsekvenser

Gennemgående er der høje forbrugsreduktioner af fossil energi ved at realisere RME-delen af scenarierne. Disse ligger på ca. 67 % i alle fire varianter i forhold til referencesituationen, når man beregner hvad et kg biobrændstof giver anledning til af reduktioner. 1.G.-bioethanolbesparelserne ligger på 49-50 % og 2.G.-bioethanol er på 37-38 %. Samlet set er reduktionerne på 59-61 %. Disse reduktioner er målt i forhold til referencesituationen. Målt i forhold til Danmarks bruttoenergiforbrug i 2008 på 721 PJ, ligger reduktionerne på omkring 2 - 7 %.

7.1.2 Velfærdsøkonomiske konsekvenser

Det er i forbindelse med de velfærdsøkonomiske konsekvenser, at der optræder de mest markante forskelle imellem scenarievarianterne. Olieprisernes og de øvrige fossile brændstoffers pris er selvsagt afgørende for forskellene imellem 65 \$- og 100 \$-varianterne. Forskellene imellem HS1 og HS2, og ændringerne op igennem årene, skyldes de ændrede andele imellem de tre biobrændstoftyper og ændrede iblandingsprocenter i forhold til de fossile brændstoffer.

De velfærdsøkonomiske konsekvenser vil være positive i alle scenarieårene i 100 \$-varianterne, dvs. det er forbundet med en velfærdsmæssig gevinst for samfundet. Dette skyldes de høje priser på fossil energi der gør det rentabelt at producere biobrændstof. Gevinsten øges igennem scenarieårene fra 189 mio. kr. i 2010 til 673 mio. kr. i 2030 i HS1-situationen og 922 mio. kr. i HS2-situationen i 2020.

I 65 \$-scenarierne vil der igennem årene være et stigende velfærdsøkonomisk tab ved at realisere scenarierne, hvilket altså primært er reflekteret i de lavere priser på fossil energi i referencescenariet, som gør det mindre rentabelt at omstille til biobrændstoffer. Tabet går fra 391 mio. kr. i 2010 til 600 mio. kr. i 2030 i HS1-situationen og 783 mio. kr. i HS2-situationen i 2020.

7.1.3 Emissionskonsekvenser

Hvad angår drivhusgasemissioner, er det som forventet gunstigt at skifte til biobrændstofferne i alle scenarievarianter og scenarieår. Dette skyldes at CO₂-emissionerne fra biobrændstofferne regnes som CO₂-neutrale og derfor sættes til nul. I alle scenarietilfældene er der en CO₂-fortrængning på mellem 57 % og 59 % i forhold til referencesituationens emissionsniveau, når man beregner hvad et kg biobrændstof giver anledning til af reduktioner. Beregnet i forhold til Danmarks samlede CO₂eq-emissioner i 2008, stiger reduktionerne fra 2 % til 6 % over årene.

Som det fremgår i kapitel 3 og 4, er billedet for de øvrige emissioner broget. I alle scenarievarianter for alle årene, reduceres PM₁₀, mens CO og NO_x øges. NMVOC reduceres i det første scenarieår 2010, for derefter at øges dramatisk frem til 2030. Emissionsprofilerne for forbrændingen i hhv. diesel og benzinmotorer er særdeles afgørende for ændringerne i

disse emissioner. Disse profiler ændrer sig over årene som følge af lovgivningen (bl.a. EURO-normer) og den teknologiske udvikling, og ændrer sig også afhængig af balancen imellem de fossile brændstoffer benzin og diesel, og biobrændstofferne RME og bioethanol (jf. Winther & Plejdrup, 2010). Men alle ændringer er marginale - under 0,5 % i forhold til det samlede emissionsniveau i Danmark.

7.1.4 CO₂eq-fortrængning sammenlignet med Biobrændstofbekendtgørelsen

Scenariernes CO₂-fortrængning i procenter, beregnes i forhold til referencesituationen der omfatter emissioner fra både dyrkning, transport og det fossile brændstofs produktion og forbrænding. I Bekendtgørelse om biobrændstoffs bæredygtighed (Klima- og Energiministeriet, 2009a) er der opstillet en metode til beregning af biobrændstoffs CO₂-fortrængning, der følger EU's direktiv om vedvarende energi (CEC, 2009). Her er referencesituationen, som fortrængningen beregnes i forhold til, alene udgjort af emissionerne relateret til fossilt brændstofs produktion og forbrænding, og ville, hvis anvendt, give et andet resultat end det her angivne.

Der er lavet en overslagsberegning på CO₂eq-fortrængningsprocenterne udregnet efter bekendtgørelsens metode. Dette betyder, at der er inkluderet udenlandske opstrømsmissioner. Men det er undladt at indregne emissioner fra ændring i landbrugets kulstofpulje. Biprodukters andel af produktionsemissionerne er fraregnet som foreskrevet ud fra deres energiandel. Bekendtgørelsen er noget uklar på visse områder, men det er antaget, at halms produktionsemissioner ikke skal indregnes, hvad enten halmen anvendes til biobrændstofproduktion (2.G.-bioethanol) eller andet. Det fremgår også af bekendtgørelsen, at råglycerin skal anses som havende ingen drivhusgasemissioner i dets opstrømsproduktionsproces. Dette er ikke efterfulgt, idet glycerin anses som et fuldgyldigt bi-produkt fra RME-produktionen.

Med disse forbehold sammenlignes CO₂-fortrængningsprocenterne udregnet efter herværende projekts metode med biobrændstofbekendtgørelsens metode for år 2010, gældende for begge scenarier i begge deres varianter. Se tabel 7.2.

Tabel 7.2 CO₂eq-fortrængningsprocenter beregnet efter hhv. REBECa-projektets og biobrændstofbekendtgørelsens metode.

HS1/HS2-65\$/100\$	RME 1.G.-bioethanol		2.G.-bioethanol	
			“stand alone proces”	“integreret proces”
REBECa			%	
CO ₂ eq-emissionsfortrængning i forhold til referencesituation	-65	-46	-33	-46
CO ₂ eq-emissionsfortrængning jf. biobrændstofbekendtgørelsens beregningsmetode	-52	-38	-23	-52
Standardværdier				
Bæredygtighedsbekendtgørelsen – ”typiske værdier”	-45	-45*	n.a.	-87
Bæredygtighedsbekendtgørelsen – ”standardværdier”	-38	-34*	n.a.	-85

*Naturgas som procesbrændsel i konventionelt anlæg.

Som det fremgår, er fortrængningsprocenterne for RME og 1.G.-bioethanol noget højere ved REBECa-projektets udregningsmetode end

ved biobrændstofbekendtgørelsens metode. Dette gælder også for 2.G.-bioethanol produceret i en "stand-alone" proces, dvs. hvor procesenergi- en produceres alene til konverteringsværket. I en integreret proces hvor der udnyttes overskudsvarme fra kraftvarmeværk, bliver resultatet bedre ved biobrændstofbekendtgørelsens beregningsmetode (52 %). Disse tal kan endvidere sammenlignes med de "typiske" og "standard"- værdier der er vist i biobrændstofbekendtgørelsen, hvilke ligger noget lavere for RME og meget højere ved 2.G.-bioethanol. Det fremgår ikke klart af bekendtgørelsen præcis hvilken type anlæg der er tale om, og om det er sammenligneligt med anlægget, der ligger til grund for beregningerne i REBECA-projektet.

Bekendtgørelsen fordrer, at biobrændstoffer frem til 2017 udviser en fortrængningsprocent på mindst 35 %, stigende til 50 % i 2017 og 60 % i 2018 for anlæg der tages i brug efter 2017. Dette opfyldes altså af RME og 1.G.-bioethanol i 2010 og forventeligt også fremover. Det opfyldes også af 2.G.-bioethanol produceret ved integreret procesenergi, sådan som det sker ved DONG Energys demonstrationsanlæg Inbicon.

7.1.5 Følsomhedsanalyser

Der er udført en række følsomhedsanalyser for at belyse usikkerhederne i resultaterne. Der er kun udført analyser for HS1-scenariet, idet HS2-scenariet, som nævnt, ikke kan realiseres for RME-delens vedkommende ved udelukkende dansk rapsproduktion.

Resultaterne af HS1-følsomhedsanalyserne opsummeres i de tre efterfølgende tabeller for hhv. fossil energiforbrugskonsekvenser, CO₂eq-emissionskonsekvenser og velfærdsøkonomiske konsekvenser. Til sammenligning er også vist resultaterne fra det basale HS1-scenarie.

Tabel 7.3 viser følsomhedsscenariernes fossile energiforbrugsmæssige konsekvenser i forhold til Danmarks samlede fossile energiforbrug på 721 PJ i 2008.

Tabel 7.3 Oversigt over følsomhedsanalyser for fossil energiforbrugskonsekvenser i HS1.

	RME		1.G.-bioethanol		2.G.-bioethanol		Total	
	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2010	2030
65 \$-variant	%							
Hovedscenarie HS1	-1,6	-4,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,7	-2,0	-5,1
Følsomhedsanalyser:								
75 % halmbrændsel	-0,7	-1,9	-0,3	-0,2	0,1	0,8	-0,9	-1,3
75 % referenceudbytte	-1,6	-4,4	-0,3	-0,2	-0,1	-0,7	-2,0	-5,3
Integreret produktionsenergi	-1,6	-4,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,7	-2,0	-5,1
100 \$-variant	%							
Hovedscenarie HS1	-1,4	-3,6	-0,3	-0,2	-0,1	-0,6	-1,8	-4,3
Følsomhedsanalyser:								
75 % halmbrændsel	-0,6	-1,6	-0,3	-0,2	0,1	0,7	-0,8	-1,1
75 % referenceudbytte	-1,5	-3,8	-0,3	-0,2	-0,1	-0,6	-1,9	-4,5
Integreret produktionsenergi	-1,4	-3,6	-0,3	-0,2	-0,1	-0,8	-1,8	-4,5

Kun de viste udbytte- og energirelaterede følsomhedsanalyser medfører andre konsekvenser end HS1-scenariet, og det er kun "75 % halmbrændsel" der viser en markant forskel. Forskellen skyldes at en øget andel

halm i referencesituationen er tildelt en energimæssig værdi. Denne erstattes med fossilt kul i scenariosituationen, hvilket betyder, at reduktionen af fossil energi i forhold til referencesituationens fossile energiforbrug falder.

Tabel 7.4 herunder, viser i oversigt CO₂eq-emissionskonsekvenserne ved følsomhedsanalyserne, i forhold til Danmarks samlede CO₂eq-emissioner på 63,4 mio. tons i år 2008. Ved sammenligning med tabel 7.3 vil det fremgå, at procentsatserne ligger meget tæt op ad hinanden. Dette skyldes at CO₂eq-emissionerne - for størsteparten - stammer fra forbrænding af fossile brændstoffer og hertil relaterede CO₂-emissioner. Mindre andele skyldes drivhusgasserne CH₄ og N₂O.

Igen er det kun de viste energi- og udbytterelaterede følsomhedsanalyser der giver udslag, og det er især den første følsomhedsvariant "75 % halmbrændsel" der viser stor forskel til hovedscenariet, med samme forklaring som ovenfor.

Tabel 7.4 Oversigt over følsomhedsanalyser for CO₂eq emissionskonsekvenser.

	RME		1.G.-bioethanol		2.G.-bioethanol		Total	
	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2010	2030
65\$-variant	%							
Hovedscenarie HS1	-1,3	-3,6	-0,2	-0,2	-0,1	-0,6	-1,7	-4,4
Følsomhedsanalyser:								
75 % halmbrændsel	-0,5	-1,3	-0,2	-0,2	0,1 *	0,8 *	-0,6	-0,6
75 % referenceudbytte	-1,4	-3,8	-0,2	-0,2	-0,1	-0,6	-1,7	-4,6
Integreret produktionsenergi	-1,3	-3,6	-0,2	-0,2	-0,1	-0,8	-1,7	-4,6
100\$-variant	%							
Hovedscenarie HS1	-1,2	-3,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,5	-1,5	-3,8
Følsomhedsanalyser:								
75 % halmbrændsel	-0,4	-1,1	-0,2	-0,1	0,1 *	0,7 *	-0,6	-0,6
75 % referenceudbytte	-1,3	-3,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,5	-1,6	-3,9
Integreret produktionsenergi	-1,2	-3,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,7	-1,5	-3,9

* Det bemærkes at CO₂-emissionerne øges.

Tabel 7.5 viser de velfærdsøkonomiske konsekvenser ved følsomhedsanalyserne. Der optræder der store forskelle der belyser følsomheden i de velfærdsøkonomiske konsekvensberegninger, som følge af de valgte antagelser og værdier.

For RME virker de to landbrugsorienterede følsomhedsanalyser i modsat retning. Velfærdsøkonomisk vil det jf. "75 % referenceudbytte", være en fordel at erstatte dårligt ydende kornprodukter med raps. Omvendt vil det jf. "75 % halmbrændsel" påvirke RMEs velfærdsøkonomiske fordelagtighed negativt, hvis hvedehalmen i stedet kunne anvendes som direkte kraftværksbrændsel. For 2.G.-bioethanol påvirker det også resultaterne ugunstigt, hvis en øget mængde hvedehalm med nytteværdi i referencesituationen trækkes bort fra kraftværksforbrænding til 2.G.-bioethanol, jf. "75 % halmbrændsel". I selve konverteringsprocessen har det overordentlig stor betydning, hvor stort et energiforbrug der regnes med til at fremskaffe den nødvendige mængde damp, jf. "Integreret produktionsenergi". Produceres varmeenergien fra grunden på basis af kul, bliver det energimæssigt en meget ufordelagtig proces, mens overskudsvarme fra et kraftvarmeværk vil nedsætte energiforbruget væsent-

ligt. Dette vil øge den velfærdsøkonomiske gevinst og øge CO₂eq-emissionsreduktionerne, pga. det lavere energiforbrug.

Tabel 7.5 Oversigt over følsomhedsanalyser for velfærdsøkonomiske konsekvenser i HS1. Negative tal angiver tab, mens positive tal angiver gevinst.

	RME		1.G.- bioethanol		2.G.- bioethanol		Total	
	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2010	2030
Hovedscenarie HS1 – 65 \$-variant	-293	-741	-120	-61	22	202	-391	-600
Følsomhedsanalyser:								
75 % halmbrændsel	-507	-1314	-120	-61	-15	-89	-642	-1463
75 % referenceudbytte	69	225	-120	-61	22	203	-29	367
Integreret produktionsenergi	-293	-741	-120	-61	28	254	-384	-548
Enzympris 200 %	-293	-741	-120	-61	9	100	-404	-703
150 % emissionspris	-258	-629	-125	-57	21	206	-363	-481
CO ₂ -pris 500 %	48	167	-59	-21	42	366	30	513
Halmpri 125 %	-263	-661	-120	-61	22	202	-361	-520
Hvedekernepris 35 % lavere	199	571	79	65	14	140	291	776
Hvedekernepris 35 % højere	-784	-2053	-319	-187	30	264	-1073	-1976
Rapskagepris 25 % lavere	-397	-1019	-156	-84	22	202	-531	-901
Rapskagepris 25 % højere	-189	-463	-84	-38	22	202	-251	-300
Hovedscenarie HS1 – 100 \$-variant	80	235	64	53	46	385	189	673
Følsomhedsanalyser:								
75 % halmbrændsel	-118	-257	64	53	14	135	-40	-70
75 % referenceudbytte	412	1067	64	53	46	386	522	1505
Integreret produktionsenergi	80	235	64	53	53	442	196	730
Enzympris 200 %	80	235	64	53	35	297	178	585
150 % emissionspris	111	331	59	56	45	388	215	776
CO ₂ -pris 500 %	393	1017	116	87	63	526	572	1630
Halmpri 125 %	107	304	64	53	46	385	217	742
Hvedekernepris 35 % lavere	532	1365	236	161	39	331	806	1857
Hvedekernepris 35 % højere	-372	-894	-108	-55	52	438	-428	-512
Rapskagepris 25 % lavere	-16	-4	33	33	46	385	62	414
Rapskagepris 25 % højere	175	474	95	72	46	385	316	931

Følsomhedsanalyserne der undersøger forskellige priser, giver også resultater der fluktuerer omkring hovedscenariets resultat i både positiv retning og negativ retning, hvad angår 65 \$-scenarievarianten. Det bemærkes, at en hvedekernepris hhv. 35 % højere eller lavere end den anvendte, markerer spændvidden, dvs. maksimum og minimum, i følsomhedsanalysernes resultater. Dette gælder også for 100 \$-varianten, men her udviser de fleste andre følsomhedsanalyser velfærdsøkonomisk gevinst. Eneste undtagelse er "75 % halmbrændsel" der viser tab.

Endelig viser tabel 7.6 resultaterne af følsomhedsanalyserne vedrørende CO₂-reduktionsomkostningerne. Tendenserne er de samme som ovenfor nævnt, mht. de velfærdsøkonomiske konsekvenser. Det skal bemærkes, at totalernes reduktionsomkostninger godt kan ligge over de enkelte tre biobrændstoffer, og således ikke reflekterer en gennemsnitspris. Dette sker i de tilfælde hvor der er reduktioner for nogle af brændstofferne og forøgelser for andre, hvilket gør, at den samlede reduktion bliver ganske lille og følgelig ganske omkostningsfyldt.

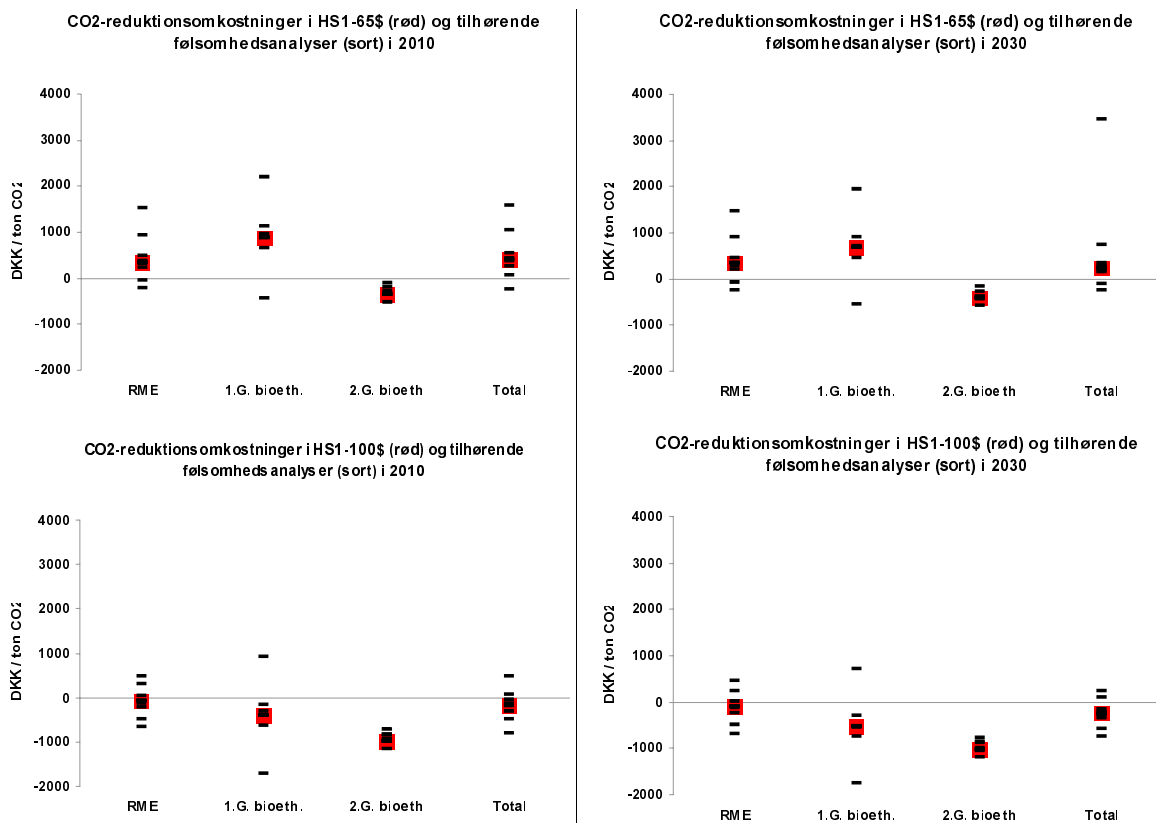
Tabel 7.6 Oversigt over CO₂-reduktionsomkostninger. Negative tal angiver besparelser, mens positive tal angiver omkostninger.

	RME		1.G.-bioethanol		2.G.-bioethanol		Total	
	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2010	2030
65 \$-varianter								
Hovedscenarie HS1	366	349	891	701	-347	-410	409	253
Følsomhedsanalyser:								
75 % halmbrændsel	1529	1481	891	701	*	*	1589	3465
75 % referenceudbytte	-49	-66	891	701	-348	-410	67	-87
Integreret produktionsenergi	366	349	891	701	-326	-373	398	228
Enzympris 200 %	366	349	891	701	-82	-151	421	290
150 % emissionspris	376	349	976	708	-269	-369	433	260
CO ₂ -pris 500 %	366	349	891	682	-347	-420	409	251
Halmpris 125 %	331	313	891	701	-347	-410	380	224
Hvedekernepris 35 % lavere	-211	-229	-419	-546	-187	-254	-240	-244
Hvedekernepris 35 % højere	944	926	2201	1948	-508	-567	1058	750
Rapskagepris 25 % lavere	488	471	1128	926	-347	-410	542	362
Rapskagepris 25 % højere	244	226	655	476	-347	-410	276	145
100 \$-varianter								
Hovedscenarie HS1	-79	-98	-385	-514	-984	-1032	-161	-246
Følsomhedsanalyser:								
75 % halmbrændsel	300	249	-385	-514	*	*	70	89
75 % referenceudbytte	-469	-487	-385	-514	-982	-1030	-479	-561
Integreret produktionsenergi	-79	-98	-385	-514	-817	-856	-164	-252
Enzympris 200 %	-79	-98	-385	-514	-718	-773	-149	-209
150 % emissionspris	-69	-97	-300	-507	-905	-991	-138	-239
CO ₂ -pris 500 %	-79	-98	-385	-533	-984	-1041	-161	-248
Halmpris 125 %	-115	-133	-385	-514	-984	-1032	-190	-275
Hvedekernepris 35 % lavere	-657	-676	-1694	-1760	-824	-876	-806	-744
Hvedekernepris 35 % højere	498	480	925	733	-1144	-1189	484	251
Rapskagepris 25 % lavere	43	24	-148	-288	-984	-1032	-28	-138
Rapskagepris 25 % højere	-201	-220	-621	-739	-984	-1032	-294	-355

* Idet emissionerne øges i denne følsomhedssituation, giver det ikke nogen mening at tale om omkostningerne ved at reducere CO₂.

Det bemærkes at 2.G.-bioethanolproduktionen vil medføre øget fossilt energiforbrug i "75 % halmbrændsel" følsomhedsanalysen, hvilket skyldes, at de 75 % hvedehalm der i referencesituationen antages forbrændt på kraftværker og uden CO₂-emissioner pga. CO₂-neutralitet, i scenarie-situationen erstattes med fossilt kul der emitterer store mængder CO₂. Med de øgede CO₂-emissioner giver det ikke mening at beregne en CO₂-reduktionsomkostning. Dog reflekteres forholdet i følsomhedssituationens totale CO₂-reduktionsomkostninger, der bliver ret høje i 65 \$-varianten, netop fordi CO₂-forøgelserne modarbejder reduktionerne ved RME og 1.G.

Figur 7.1 viser spændvidden i følsomhedsanalysernes resultater (high-low) og med angivelse af det grundlæggende HS1-scenarie i 65 \$- og 100 \$-varianterne som basis, for år 2010 og år 2030.



Figur 7.1 CO₂-reduktionsomkostninger. Spændvidden i følsomhedsanalysernes resultater i forhold til det grundlæggende HS1-scenarie i 65 \$- og 100 \$-varianterne for år 2010 og 2030 (markeret med rødt). Positive værdier angiver CO₂-reduktionsomkostninger, mens negative værdier angiver CO₂-reduktionsgevinster.

Resultaterne af følsomhedsanalyserne understreger den varsomhed man skal lægge i tolkningen af resultaterne. Især er reference- og scenarieantagelserne om landbrug særdeles betydende for det endelige resultat af de samfundsmæssige WTW-analyser.

7.2 Vurdering

Inden for dette projekts analyseramme, antagelser og forudsætninger viser den velfærdsøkonomiske analyse, at det vil være gunstigt for samfundet at realisere biobrændstofs-scenariene i et vist omfang ved oliepriser over 100 \$ per tønde, mens det vil medføre tab ved oliepriser på 65 \$. I alle tilfælde reduceres det fossile energiforbrug og CO₂eq-emissionerne, hvis effekt er prissat og inkluderet i den velfærdsøkonomiske analyse.

Selve implementeringen af biobrændstoffer i Danmark vil være afhængig af markedsprisen. Som det er nu, er den ikke gunstig mht. biobrændstoffer. Den RME der i dag produceres i Danmark eksporteres til andre europæiske lande hvor der er tilknyttet statssubsidier. Subsidier vil tilsvarende være en væsentlig faktor i Danmark for at realisere målsætninger eller ønsker om biobrændstofiblanding.

Fremskrivningen af de basale resultater udregnet per kg biobrændstof, er foretaget ved en simpel opskalering på basis af modelleret brændstoffefterspørgsel, og tager således ikke højde for dynamiske effekter der træder i kraft ved stadig større biobrændstofproduktioner. Derved forbliver fremskrivningerne illustrative.

Det er dog værd at vurdere de tre typer biobrændstof separat. De tre biobrændstoftyper udviser forskellig velfærdsøkonomisk fordelagtighed, jf. kapitel 3 og 4, og således også forskellige energimæssige og emissionsmæssige balancer.

Det skal her holdes in mente, at selv om en analyseret ændring synes at være en god ide, behøver det ikke at være den bedste ide. Alle resultater er altid i forhold til en forudsat reference og er følsom over for scenarieantagelser.

De valg der er foretaget omkring halm i både reference- og scenariosituationen er særdeles gunstige for biobrændstofferne. Valget i referencesituationen, at kun de 26 % hvedehalm, der går til kraftværksforbrænding, er prissat, reflekterer virkeligheden, nemlig at halmen handelsmæssigt er værdiløs, hvis der ikke er nogen hjemlig efterspørgsel. Dette gør det naturligt billigt at producere 2.G.-bioethanol i scenariosituationen, når det betragtes som en ledig ressource uden værdi. Landmanden opnår en fortjeneste ved at sælge halmen, men dette udtrykker blot i det samfundsmæssige perspektiv, en omfordeling af indkomst. I det øjeblik halmen benyttes som input til 2.G.-biobrændstofproduktion, opnår den også en økonomisk værdi, og dette er der altså ikke regnet med. Til gengæld er forholdet belyst i følsomhedsanalysen "75% rapshalm", hvor det i referencesituationen antages at 75 % hvedehalm går til kraftværksforbrænding, hvor det substituerer fossilt kul og herved har en værdi som mistes for den andel som anvendes til 2.G.-produktion i scenariosituationerne. Også med hensyn til RME-delen af scenarierne, er valget af halmudnyttelsen gunstigt, for her antages det grundlæggende at al rapshalmen anvendes til kraftværksforbrænding, hvilket bidrager positivt i RME-produktionens balance. Disse valg skal ses ud fra, at referencesituationen søger at beskrive den aktuelle virkeligheds forhold, mens en scenariosituation beskriver tænkte fremtidige situationer, og her er det valgt, at biprodukterne fra biobrændstofproduktionerne skal udnyttes bedst muligt, velvidende at hvis Danmark vælger at satse på biobrændstofproduktion i større mængde, skal biprodukter udnytte optimalt, for at det skal være økonomisk fordelagtigt.

Med opblødningen af EU's direktiv om vedvarende energi til ikke kun at dække biobrændstoffer, men også anden vedvarende energi (jf. Klima- og Energiministeriet, 2009b), vil elbiler i forskellige teknologiløsninger stå som direkte konkurrenter. Det falder uden for herværende studie at analysere de velfærdsøkonomiske effekter af disse alternative vedvarende energisystemer.

7.2.1 Vurdering i perspektiv

Olieprisen var i 2006 på ca. 65 \$ per tønde, og nåede i 2008 første gang op over 100 \$, for dog derefter at falde igen. Uafhængig af kortsigtede fluktuationer, forventes prisen på fossilt brændstof at stige i fremtiden, pga. de faldende ressourcer og den øgede efterspørgsel. Dette vil alt andet lige i højere og højere grad gøre det fordelagtigt at producere og anvende biobrændstoffer. Tilsvarende højere hvedepriser kan dog modarbejde fordelagtigheden, ligesom teknologiske ændringer kan komme til at begrænse eller udsætte stigningen i prisen på konventionel energi.

Fra et konsekvensetisk synspunkt vil det med højere oliepriser være fordelagtigt at producere og anvende biobrændstoffer, fordi det både fører til CO₂eq-emissionsreduktioner og er velfærdsøkonomisk fordelagtigt. Fra et pligtetisk synspunkt vil biobrændstofproduktionen dog fortsat være problematisk. For det første, er der det helt grundlæggende spørgsmål, om man bør anvende fødevarer til brændsel. Hertil kommer også et fordelingsspørgsmål, om man må belaste ulande direkte såvel som indirekte med energiproduktion i landbruget. Produceres energiafgrøder hjemligt vil det typisk medføre en øget import af fødevarer, som således kan belaste produktion af fødevarer til lokalt brug i ulande, men omvendt tilfører disse økonomiske ressourcer. Importeres bioafgrøderne fra ulande kan det lokale forsyningssystem igen blive belastet, eller man risiker øget skovrydning for at skaffe nye landbrugsarealer.

Med hensyn til hvedehalm er der et andet aspekt at tage højde for, nemlig stofbalancerne i de enkelte marker. Bortskaffes en stor mængde halm, som hidtil har været nedmuldet, kan det f.eks. forhindre en tilsigtet kulstofopbygning eller i værste fald medføre et fald i kulstof.

I et bredt teknologisk systemperspektiv er der problemer i at satse på en energitype der meget vel kun er et overgangsfænomen, altså biobrændstoffer. Investeringer i teknologier, hvor man satser på et givent teknologispør, kan binde samfundet langt ud i fremtiden, den såkaldte lock-in-problematik. Således er det også et spørgsmål om biomasse ikke bedre udnyttes direkte i kraftværker og omdannes til elektricitet, der bl.a. kan anvendes i elbiler, hvilket dog også kræver teknologisk udvikling. Dette spørgsmål er tilnærmet en belysning i følsomhedssceneriet "75 % halmbrændsel", der altså refererer til at 75 % hvedehalm fra en mark anvendes til kraftværksbrændsel i referencesituationen, og ikke som nu kun 26 %. Dette scenarie medførte, at konsekvenserne ved biobrændstofs-scenarierne blev flyttet i negativ retning, både hvad angår energiforbrug, emissionsreduktion og velfærdsøkonomi. Imidlertid vil det kræve selvstændige analyser at besvare denne problematik fuldt ud. Der gælder nemlig de modsatrettede forhold at konverteringseffektiviteten ved el-produktion er temmelig lav, mens el har en meget høj virkningsgrad i motorer.

7.3 Sammenligning med øvrige studier

7.3.1 EA energianalyse

EA Energianalyse (2010) har foretaget en vurdering af 2.G.-bioethanol produceret fra samme proces som antaget i REBECa-studiets følsomhedsanalyse "integreret procesenergi" og som er beskrevet i Hedegaard Jensen & Thyø, 2007. Her når man frem til en samfundsøkonomisk *tabsgivende konsekvens* for 2.G.-bioethanol i 2015 på 1,62 kr. i forhold til en liter fossil benzin, hvilket omregnet er 1,32 kr. per kg bioethanol (med hensyn til massefylde og brændværdi). Denne samfundsøkonomiske analyse er snæver, og tager således ikke hensyn til hvad samfundet mister eller taber ved at forlade hidtidig produktion og ressourceanvendelse. Resultaterne kan derfor ikke sammenlignes med herværende analyseres resultater, som viser en gevinstmæssig konsekvens for samfundet. Endvidere gælder der det forhold, at man på udgiftssiden indregner prisen på halm, hvilket udgør omkring halvdelen af de samlede udgifter. I

herværende projekt betragtes halmen som en ledig ressource og altså gratis for samfundet at anvende til 2.G.-ethanolproduktionen.

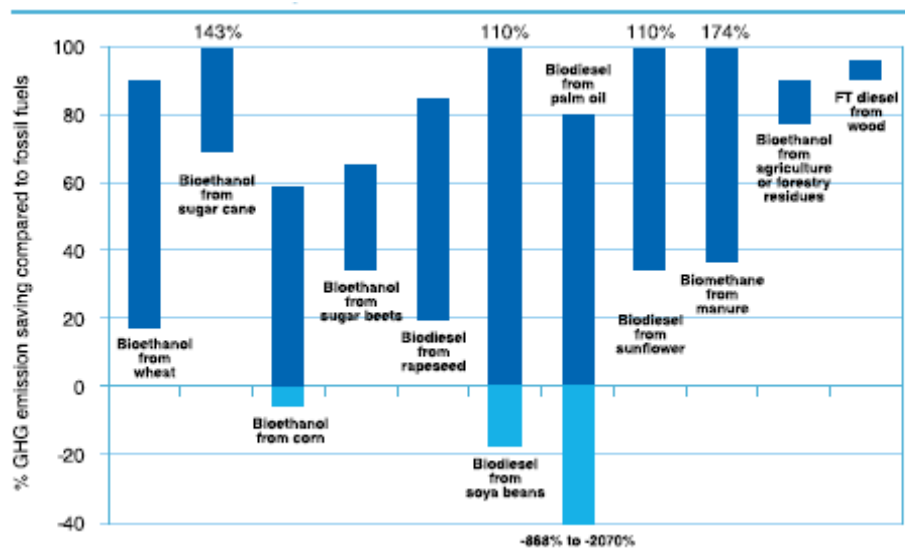
EA Energianalyse (2010) beregner CO₂-reduktionsomkostningerne i 2015 til 677 kr. per ton CO₂, og stiller det op i forhold til den af Energistyrelsen fremskrevne kvotepris på 230 kr. per ton. I dette studie beregnes en *negativ* reduktionsomkostning, dvs. besparelse, på 261 kr. per ton i 2015 i 65 \$-varianten og en *negativ* reduktionsomkostning, dvs. besparelse, på 846 kr. per ton i 100 \$-varianten. Forskellene kan igen forklares med de forskellige analysemetoder og antagelser.

7.3.2 Institut for Miljøvurdering

Institut for Miljøvurdering (IMV, 2006) har udgivet analysen "CO₂-reduktionsomkostninger ved biodiesel – Dansk produceret biodiesel på raps" (2006). Heri estimeres CO₂-reduktionsomkostningen for RME til 860 kr. per ton CO₂. I herværende analyse beregnes en CO₂-reduktionsomkostning på 366 kr. per ton RME i 65 \$-varianten og -79 kr. per ton RME i 100 \$-varianten. IMV gennemfører en velfærdsøkonomisk analyse, men der tages ikke hensyn til de velfærdsøkonomiske tab og gevinster ved at forlade referencesituationens landbrugsproduktion, som i herværende analyse. Man har regnet med en oliepris i basisscenariet på 51 \$ per tønde. I deres højprisscenario på 73 \$ per tønde beregner man 220 kr. per ton CO₂. Ved lineær interpolation kan der uddrages et estimat på 627 kr. per ton CO₂ ved en oliepris på 65 \$, som er et stykke fra prisen på 366 kr. per ton. Forskellen lader sig forklare i prisudviklingen siden IMVs analyse. Eksempelvis regner IMV med en pris for biproduktet rapskage på 1,3 kr. per kg RME produceret, mens herværende analyse regner med 2,4 kr. per kg RME produceret. Til gengæld regner man med en glycerinpris på 0,6 kr. per kg RME produceret, mens herværende analyse regner med 0,04 kr. per kg RME. Dette skyldes en antagelse om at glycerinen anvendes som kraftværksbrændsel og ikke til den farmaceutiske industri, der meldes som mættet i forhold til at aftage glycerin.

7.3.3 UNEP

I rapporten Assessing Biofuels – towards sustainable production and use of resources (UNEP, 2009) vises følgende figur 7.2, som angiver drivhusgasreduktionsintervaller for biobrændstoffer målt i forhold til fossile brændstoffer. Data er sammensat fra forskellige sammenlignende studier, bl.a. Menichetti & Otto (2008), hvad angår biodiesel og bioethanol.



Figur 7.2 Drivhusgasreduktioner ved biobrændstoffer sammenlignet med fossile brændstoffer. Kilde: UNEP, 2009

Som det fremgår, og som det nævnes i rapporten, varierer CO₂-fortrængningen særdeles meget afhængig af teknologi, forudsætninger og beregningsmetode, og ligger således, hvad angår RME, i intervallet 20 % til 85 %. Til sammenligning viser herværende studie en RME-fortrængningsprocent på 52 % beregnet efter biobrændstofdirektivets beregningsmetode (Klima og Energistyrelsen, 2009a). UNEP-analysen angiver CO₂-fortrængningsprocenten ved bioethanol til at ligge i intervallet 18 % - 90 %, og til sammenligning ligger herværende studies CO₂-fortrængningsresultater efter biobrændstofbekendtgørelsen beregningsmetode på hhv. 38 % og 52 % for 1.G.- og 2.G.-bioethanol. Således ligger herværende studies resultater inden for UNEP-rapportens noget komfortable interval.

7.4 Usikkerheder

Som det fremgår af rapporten, bygger studiet på en række antagelser og afgrænsninger. Dette medfører, at resultaterne skal tolkes med varsomhed, hvilket også følsomhedsanalyserne indikerer.

I analysen er der både eksplicit og implicit foretaget mange udeladelser, for at holde projektets analyser i et rimeligt omfang. Det er forsøgt at medregne de vigtigste elementer, men elementer der har vist sig mindre betydende, er dog også regnet med, f.eks. transport imellem produktionsled, og også en række emissioner hvis ændringer viser sig at være marginale.

7.4.1 Systemafgrænsningen

Analyserne i denne rapport er af typen *komparativ statistisk analyse*, hvor man ikke tager højde for alle pris- og mængdetilpasninger, som følge af en given omallokering af ressourcerne. En sådan *generel analyse* ville kræve anvendelse af en verdensomspændende økonomisk model. Men

selv i en generel analyse, kan man godt vælge alene at se på konsekvenserne for Danmark ved vurdering af fordelagtigheden.

Med hensyn til omkostninger og energiforbrug, er dette projekts analyseramme verdensomspændende, forstået på den måde at opstrømsenergiforbruget for importerede råvarer og produkter er indregnet. Udenlandske produktionsomkostninger anses implicit reflekteret i varens pris. Derimod, med hensyn til emissioner, er analysen afgrænset til kun at dække emissionskonsekvenser opstået på dansk område. Dette er begrundet i ønsket om at beregne emissionskonsekvenserne i forhold til hvad Danmark rapporterer til de internationale organisationer (FN, EU etc.).

7.4.2 Produktionsenergi og samproduktion

Al produktionsenergi er regnet som fossil. Dette behøver ikke at være tilfældet, ligesom der kan ske samproduktionsfordele, dvs. integrerede løsninger. Betragter man således noget af energiinputtet som ikke fossilt men CO₂-neutralt, vil det medføre en række konsekvenser bagud, for denne energi kræver også inputenergi, hvoraf en del kan være fossil. Ydermere, hvis denne CO₂-neutrale energi anvendes til biobrændstofproduktion trækkes den bort fra anden anvendelse, hvor der så skal substitueres med en marginal fossil energi, som f.eks. kul.

7.4.3 Deponi og tank

Det er valgt at se bort fra ændringer omkring depot og tank. Dette er kilde til nogen usikkerhed om end JEC (2007) viser, at der er tale om marginale ændringer per kg brændstof.

Referencer

Internt notat i REBECA-projektet

Jørgensen, Kaj, 2008. Notat om scenarierarbejdet i Biofuel-projektet. Afdeling for Systemanalyse, November 2008, DTU, RISØ, Roskilde.

Personlig kommunikation internt DMU

Steen Gyldenkerne, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet.
Rikke Albrechtsen, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet.
Ole-Kenneth Nielsen, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet.

Personlig kommunikation eksternt

Agrofood: Palle Greiersen.
Danish Agro: Henrik Stilund.
Dankalk: Houni Mikkelsen.
Danraps: Ingolf Nielsen.
DLG: Claudio Pelsen.
Emmelev Mølle a/s: Kent Gordon.
Energinet.dk: Christian Guldager Simonsen.
Faxe Kalk: Klaus Rønholt.
Danmarks Tekniske Universitet, Thomas Jensen.
Landscentret, Dansk Landbrugsrådgivning:
 Feidenhansl Barthold.
 Erik Maegaard.
 Leif Knudsen.
Novozymes:
 Johan Mogensen.
 Lau Andersen.
 Karen Margrethe Oxenbøll.
Scanola: Peter Lundberg.
Henrik Wenzel, Syddansk Universitet.

Litteraturreferencer

ADEME, 2002: Ecobilan; PricewaterhouseCoopers: Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants; Rapport technique; la Direction de l'Agriculture et des Bioénergies de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) d'une part, et la Direction des Ressources Energétiques et Minérales (DIREM) du Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie; Version définitive Novembre 2002;

CEC, 2009: EU Directive 2009/28/EC Directive on Renewable Energy on the promotion of the use of energy from renewable sources

COWI, 2007: Teknologivurdering af alternative drivmidler til transportsektoren. (Rapport og regneark). COWI.

DAKOFO, 2010: Københavns Notering.

<http://www.dakofo.dk/KoebenhavsNotering/Notering.htm>

Danmarks Statistik, 2009: Statistikbanken.

<http://www.statistikbanken.dk>

Dansk Landbrugsrådgivning, 2005: Fodermiddeltabel 2005, Dansk Kvæg, nr. 112. Dansk Kvæg og Danmarks Jordbrugsforskning.

Dansk Shell, 2009: Miljøredegørelse 2008. "Grønt regnskab". Erhvervs- og Selskabsstyrelsen. København

DMU, 2009: Emissionsfaktorer. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. <http://www.dmu.dk/luft/emissioner/emissionfactors>

DMU, 2009b: Emissionsopgørelse for 2008.

<http://www.dmu.dk/luft/emissioner/homeofinventory/>

EA Energianalyse, 2009: Samfundsøkonomiske aspekter ved produktion af 2. generations bioethanol. Udarbejdet for Partnerskabet for Biobrændstoffer.

Energinet.DK, 2008: Miljørapport 2008. Energinet.DK.

<http://www.energinet.dk>

Energi og olieorganisationerne, 2010: Produkter /

<http://www.test.oliebranchen.dk>

Energistyrelsen, 2003: Dokumentation for beregning af CO₂-reduktionsomkostningen ved anvendelse af biodiesel (revideret udgave december 2003). Energistyrelsen, København

I Energistyrelsens, 2007: Vejledning i samfundsøkonomiske analyser på energiområdet. Energistyrelsen. København.

Energistyrelsen, 2008a: Danmarks olie- og gasproduktion 07. Energistyrelsen, København

Energistyrelsen, 2008b: Energistatistik 2008. Energistyrelsen, København.

Energistyrelsen, 2009: Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet - maj 2009. Energistyrelsen, København.

Energistyrelsen, 2009b: Energistatistik 2008. Energistyrelsen, København.

Force Technology, 2009: Biolex database. <http://biolex.dk-teknik.dk>

Frederiksen, P., Jensen, T., Winther, M., Jepsen, M.R., Larsen, L.E. & Slentø, E. 2010: Integrated assessment of the introduction of biofuels in the Danish transport sector. I: International Conference on Energy, Environment and Health: Optimisation of future energy systems. WWW.CEEH.dk: Centre for Energy, Environment and Health (CEEH), 2010 (forthcoming).

Gefion Planteavl, 2008: Fosfor – kalium – ny strategi? Planteavlsnyt, 10. juli 2008. Gefion Planteavl, Dansk Landbrugsrådgivning.

<http://www.planteavlsnyt.dk/>

Hedegaard Jensen, K. & Thyø, K. 2007: 2nd generation bioethanol for transport: the IBUS concept – boundary conditions and environmental assessment. Master thesis, Project supervisor: Henrik Wenzel. Department of Manufacturing Engineering and Management. Technical University of Denmark.

Hedegaard Jensen, K., Thyø, K. & Wenzel, H. 2007a: Life Cycle Assessment of Bio-diesel from Animal Fat. Institute for Product Development. Technical University of Denmark.

Huusom, H. 2001: Beskrivelse af Landbrugets pesticidanvendelse – en generalisering af pesticidstikprøven. Rapport nr. 130. Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske institut. København

Inbicon, 2009: Figure: the IBUS process. <http://www.inbicon.com>

IMV, 2006: CO₂-reduktionsomkostninger ved biodiesel – Dansk produceret biodiesel på raps. Institut for miljøvurdering, København. <http://www.imv.dk>

ISO, 2010: <http://www.iso.org/iso/home.html>

JEC (JRC-EUCAR-CONCAWE) 2007a: (R. Edwards, J-F Larive, V. Mahieu P. Rouveiolles et al.) Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and power trains in the European context by JRC, EUCAR and CONCAWE. <http://ies.jrc.cec.eu.int/WTW> (The study consists of a series of reports and subreports, please refer below).

JEC (JRC-EUCAR-CONCAWE) 2007b. WTT, app1. (se JEC, 2007a)

JEC (JRC-EUCAR-CONCAWE) 2007c. WTT, app2. (se JEC, 2007a)

Jørgensen, L.N., 2009: Danmark har et lavt pesticidforbrug. Landbrugsavisen 10. April 2009. <http://www.landbrugsavisen.dk/>

Klima- og Energiministeriet, 2009a: Bekendtgørelse om biobrændstoffers bæredygtighed m.v. BEK nr. 1403 af 15/12/2009. Folketinget. <http://www.ft.dk>

Klima- og Energiministeriet, 2009b: Lov om bæredygtige biobrændstoffer. Lov nr 468 af 12/06/2009 Folketinget. <http://www.ft.dk>

Kolind Hvid, S, 2008: Økonomi i markvanding af korn. In: (eds) Højholdt, M., Kolind Hvid, S., Mægaard, E. Produktionsøkonomi – Planteavl. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, Planteproduktion, Århus. <http://www.lr.dk>

Christensen, L.K. & Hundebøl, I. 2006: Kornbaseret bioethanolproduktion på studstrupværket. (PowerPoint præsentation) Elsam. http://www.studstrup.dk/fileadmin/gallerier/pdf-filer/Borgerm_de-6apr06_projekt_Elsam.pdf

Landscentret, 2008: Dyrkningsvejledning, Vinterraps. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret. <http://www.lr.dk> (LandbrugsInfo > Planteavl > Bioenergi).

- Landscentret, 2009: Budgetkalkuler 2009. Landbrugsinfo.dk. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret. <http://www.landbrugsinfo.dk>
- Landsudvalget for kvæg, 2000: Fodermiddeltabe, Sammensætning og foderværdi af fodermidler til kvæg, Rapport nr. 91. Landsudvalget for Kvæg, Oktober 2000.
- Larsen, L.E., Jepsen, M.R., Mikkelsen, M.H. & Frederiksen, P. 2010: Scenarios for biofuel production in Denmark. (work in progress).
- Menichetti, E. & Otto, M. 2009: Energy balance and greenhouse gas emissions of biofuels from a life-cycle perspective. Pages 81-109 in R.W. Howarth and S. Bringezu (eds) Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use. Proceedings of the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) International Biofuels Project. Rapid Assessment, 22-25 September 2008, Gummingsbach Germany. Cornell University, Ithaca NY, USA.
<http://cip.cornell.edu/biofuels/>
- Miljøministeriet, 2010: Samfundsøkonomisk vurdering af miljøprojekter. Miljøministeriet, 2010. <http://www.mst.dk>
- Møller, F. & Slentø, E. 2010: Samfundsøkonomisk well-to-wheel-analyse af biobrændstoffer. Analysemetoden eksemplificeret ved produktionen og brugen af rapsdiesel (RME). Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 75 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 796.
<http://www.dmu.dk/Pub/FR796.pdf>
- Novozymes, 2009: (Cynthia Bryant: Step change in cellulosic ethanol. Novozymes.
<http://www.bioenergy.novozymes.com/learn-more/presentations/>
- Plantedirektoratet, 2008: Vejledning om gødsknings- og harmoniregæer. Planperioden 1. august 2008 til 31. juli 2009. Ministeriet for fødevarer landbrug og fiskeri – Plantedirektoratet. <http://pdir.fvm.dk> (Forside » Publikationer » Vejledninger » Gødnings-regnskab)
- SAR, 1995: Second Assessment Report, IPCC. <http://www.ipcc.ch>
- TAR, 2001: Third Assessment Report, IPCC. <http://www.ipcc.ch>
- Teknologirådet, 2009a: Hvidbog om perspektiver for biobrændstoffer I Danmark – med fokus på 2. generations bioethanol. Teknologirådet.
<http://www.tekno.dk>
- Teknologirådet, 2009b: Teknologirådets nyhedsbrev til folketinget nr. 266: Hvidbog om biobrændstoffer. Teknologirådet. København.
<http://www.tekno.dk>
- UNEP, 2009: Towards Sustainable production and use of resources: Assessing biofuels. United Nations Environment Programme, UNEP.
<http://www.unep.org>
- Winther, M. & Plejdrup, M.S. 2010: "Emission consequences of introducing biofuels in the Danish road transport sector", fremlagt ved CEEH-

REBECa-CEESA International Conference on Energy, Environment and Health, Copenhagen, 31.5.2010 - 2.6.2010 (forthcoming). WWW.CEEH.dk
Centre for Energy, Environment and Health (CEEH), 2010 (forthcoming).

Appendiks 1: Begreber, definitioner, forkortelser etc.

Basale forhold

Iblandingsprocent

Iblandingsforholdet imellem fossilt brændstof og biobrændstof regnes i energiprocenter, som ikke modsvares i vægtprocenter, da de forskellige brændstoffer har forskellig brændværdi.

Energiindhold - brændværdi

Energiindholdet, eller brændværdien af brændstoffer er angivet i Lower Heating Value (LHV), som følger den Europæiske tradition, til forskel for Higher Heating Value (HHV), som bl.a. er udbredt i USA. Ved forbrænding af et brændstof (oxidation) dannes bl.a. vanddamp H_2O , der efter dampfasen kondenserer og derved tilfører mere varmeenergi til systemet. HHV måler hele denne fase med, mens LHV stopper målingerne hvor vandet stadig er i dampform. Dette giver altså en mindre brændværdi for LHV i forhold til HHV.

Procesenergi er af fossilt herkomst

Al energi der anvendes i biobrændstoffernes produktionsprocesser anses som af fossil herkomst. Biomasse opstået som biprodukt i processen går ikke til spilde, men antages blot at blive anvendt andetsteds, f.eks. i kraftværk, hvor det så substituerer fossile brændstoffer.

CO₂-neutralitet

At et brændstof har oprindelse fra fossilt brændstof betyder, at dens CO₂-emissioner ved afbrænding tæller med i Danmarks CO₂-regnskab. Derimod tælles CO₂ fra biobrændstof ikke med da det anses som CO₂-neutral. At en energikilde er CO₂-neutral betyder at den indgår i biosfærens kortvarige cyklus hvor planter trækker kulstof ud af atmosfæren til opbygning af biomasse, som derefter ved naturlig nedbrydning eller forbrænding igen frigives til atmosfæren. I tilfældet biobrændstof finder cyklussen sted inden for et år. I tilfælde med træer, er cyklussen mere langvarig for det enkelte element, men i en gennemsnitsbetragtning, hvor biomassepuljen, i form af den samlede mængde træer og samlede mængde oplagret tømmer, er konstant, vil CO₂-optaget og CO₂-nedbrydningen også balancere.

Drivhusgasserne CH₄ og N₂O regnes ikke på samme måde CO₂-neutrale.

Begreber anvendt i rapporten

HS1: Hovedscenario 1.

HS2: Hovedscenario 2.

65 \$: Variant til hovedscenarierne HS1 og HS2, med en oliepris på 65 \$ i 2006-priser.

100 \$: Variant til hovedscenarierne HS1 og HS2, med en oliepris på 100 \$ i 2006-priser.

1.G.-bioethanol: Første generations bioethanol (fra letnedbrydelige stivelsestoffer som f.eks. korn).

2.G.-bioethanol: Anden generations bioethanol (fra svært nedbrydelige lignocellulosestrukturer som f.eks. halm og træ).

Emissioner

CO₂: Kuldioxid, kultveilde

CH₄: Metan

N₂O: Lattergas

NO_x: Kvælstofoxid, kvælstofilte

SO₂: Svovldioxid

NMVOC: Non-Methan Volatile Organic Compounds

CO: Kulilte

NH₃: Ammoniak

PM₁₀: Partikler (Particulate Matter, total suspended fraction); dvs. total mængde suspendede partikler.

CO₂eq: CO₂-ækvivalenter beregnes ud fra stoffernes 100-årige globale opvarmnings potentiale (Global Warming Potential), og bringes på enhedsniveau med CO₂. Faktorerne for de tre mest dominerende drivhusgasser er opgivet nedenfor. Faktoren for CO₂ er selvsagt 1 g per g CO₂, mens CH₄ og N₂O der har stærk drivhusgaseffekt, følgelig har højere omregningsfaktorer.

1 g CO₂ per g CO₂

21 g CO₂ per g CH₄

310 g CO₂ per g N₂O

Faktorerne er defineret i SAR (Second Assessment Report, IPCC), og er dem der anvendes som standard i emissionsopgørelser, selv om tallene er revideret sidenhen i TAR (Third Assessment Report, IPCC).

Appendiks 2: Energirelaterede basisdata

Tabellen herunder angiver anvendte basisdata.

	Mængde	Enhed	Kilde
Substitutionsfaktorer			
		kg soya per kg rape seed cake	
Sojaskrå	0,884	(foderværdi)	Dansk Landbrugsrådgivning, 2005
Sojaskrå	0,780	kg soya pr. kg DDGS (foderværdi)	JEC, 2007b p.50
		kg foderhvede per kg hvedemelasse (foderværdi)	
Foderhvede	0,793		Dansk Landbrugsrådgivning, 2005
Energiindhold			
Dieselolie	35,9	MJ per liter	Energistyrelsen, 2008b
	42,7	MJ per kg	Energistyrelsen, 2008b
Benzin	43,8	MJ per kg	Energistyrelsen, 2008b
Kul	24,4	MJ per kg	Energistyrelsen, 2008b
Metanol	19,9	MJ per kg	JEC, 2007b
Råolie	43	MJ per kg	Energistyrelsen, 2008b
	5,84	GJ per tønde	Energistyrelsen, 2008b
Naturgas	11,00	kWh per Nm ³	Energistyrelsen, 2008b
	39,59	MJ per Nm ³	Energistyrelsen, 2008b
RME	37,6	MJ per kg	Energistyrelsen, 2008b
Bioethanol	26,7	MJ per kg	Energistyrelsen, 2008b
Rapsfrø	24,6	MJ per kg frø	COWI, 2007
Hvedekerner	14	MJ per kg	COWI, 2007
Rapshalm (15 % fugt)	14,9	MJ per kg	Jf. Biolex (Force Technology,2009)
Hvedehalm (15 % fugt)	15,0	MJ per kg	Jf. Biolex (Force Technology,2009)
Rapskage (13 % fugt)	17,9	MJ per kg	Danraps (pers. komm)
Glycerin	16	MJ per kg	JEC, 2007b
DDGS	7	MJ per kg hvede	COWI, 2007
DDGS	18,92	MJ per kg	beregnet
Melasse (tør vægt)	14,20	MJ per kg	Hedegaard Jensen og Thyø, 2007
Biomasse (2.G.ethanol biprodukt)	18,80	MJ per kg	Hedegaard Jensen og Thyø, 2007
Transport			
Lastbiltransport an & ab	3,9	kg per km	Jf. Transportministeriet, 2009
Foderenheder			
Hvedefoder	1,210	Foderenheder, FE, per kg	Dansk Landbrugsrådgivning, 2005
Roe-melasse	0,960	Foderenheder, FE, per kg	Dansk Landbrugsrådgivning, 2005
Halm-melasse (~roemelasse)	0,960	Foderenheder, FE, per kg	estimeret

Continued

Massefylde			
Råolie	0,86	kg per liter	Energistyrelsen, 2008b
Dieselolie	0,84	kg per liter	Energistyrelsen, 2008b
DDGS	0,37	kg per kg hvede	COWI, 2007
Bioethanol	0,79	kg per liter	Energistyrelsen, 2008b
Omregningsfaktorer			
Olie	158	liter per tønde	Energistyrelsen, 2008b
1 kWh =	3,6	MJ per kWh	Energistyrelsen, 2008b
1 m ³ Naturgas =	39,59	MJ per m ³	Energistyrelsen, 2008b
Opstrømsfaktorer			
<i>(vises både som opstrømsenergi separat og inkluderet i energibærerens egenenergi på 1 MJ)</i>			
Kul	0,094	MJ per MJ kul	JEC, 2007b p. 31
	1,094	MJ inkl. egen energi	JEC, 2007b p. 31
Råolie	0,035	MJ per MJ rå	J-E-C, 2007b (process CO ₁ +CO ₂ , p.16)
	1,035	MJ inkl. egenenergi	J-E-C, 2007b (process CO ₁ +CO ₂ , p.16)
Dieselolie	0,072	MJ per MJ dieselolie	J-E-C, 2007b p.5
	1,072	MJ inkl. egenenergi	JEC, 2007b p.5
Benzin	0,072	MJ per MJ benzin	JEC, 2007b p.6
	1,072	MJ inkl. egen energi	JEC, 2007b p.6
Elektricitet	1,885	MJ per MJ elektricitet	Jf. Energinet.dk (2008)
	2,885	MJ inkl. egenenergi	Jf. Energinet.dk (2008)
Naturgas	0,027	MJ per MJ N-gas	Jf. Energistyrelsen (2008a)
	1,027	MJ inkl. egenenergi	Jf. Energistyrelsen (2008a)
Metanol	0,658	MJ per MJ metanol	JEC, 2007b
	1,658	MJ inkl. egenenergi	JEC, 2007b
RME raffineringkemikalier	0,010	MJ per MJ RME	JEC, 2007b
Sojaskrå	3,119	MJ per kg	JEC, 2007b
Raps såsæd	7,14	MJ per kg	JEC, 2007b
Hvede såsæd	2,88	MJ per kg	JEC, 2007b
Kvælstof (N) kunstgødning	45	MJ per kg	JEC, 2007b
Fosfor (P) kunstgødning	15	MJ per kg	JEC, 2007b
Kalium (K) kunstgødning	9	MJ per kg	JEC, 2007b
Kalk	0,05	MJ per kg	Faxe Kalk og Dankalk (pers. komm.)
Planteværn (pesticider, herbicider, fungicider etc.)	259,79	MJ per kg	JEC, 2007b
Svovl	4,41	MJ per kg	Med en kilopris på ca. det halve af kalium, antages opstrømsenergien, som bedste skøn, også at være den halve af kaliums.

Appendiks 3: Enhedsomkostninger

Bag 65 \$-scenariet ligger den reelle oliepris i 2006, nemlig 65,14 \$, hvilket er den pris der i trafikfremskrivningsmodellen (Thomas Jensen, pers. komm.) er anvendt med en omvekslingskurs på 5,95 kr. per \$ (2006-kursen), og derefter fremskrevet til 2008-priser ved finansministeriets vareprisinflationsrate. Tilsvarende antages det, at 100 \$-scenariet refererer til 2006-priser, således at de 100 \$ omveksles ved kurs 5,95 og fremskrives til 2008-priser via inflationsraten.

Det to scenarier - 65 \$ og 100 \$ - markerer olieprisen. En ændret oliepris vil få direkte indflydelse på øvrige brændstoffers pris. Som et estimat er de forskellige energipriser for 2009 (Energistyrelsen, 2009) sat i procentforhold til råolieprisen (der i 2009 er sat til 0,0595 kr. per MJ). Disse procentfordelinger er så anvendt til at udlede energipriserne i 65 \$- og 100 \$-scenarievarianterne.

Generelt anvendes priser i 2008-niveau. I scenariefremskrivningerne for 2010-2030 justeres der ikke for inflation, dvs. alle priser holdes konstante. Tabellen herunder angiver de i projektet anvendte brændselspriser, jf. Møller & Slentø, 2010.

Brændstofpriser				
2008- prisniveau (faktorpriser)	Mængde	Enhed	Fordelings- nøgle	Kilde
65 \$-scenarie				
Råolie	69	\$ pr. tønde		Thomas Jensen, 2009, pers. komm.
	412	Kr. pr. tønde		jf. Thomas Jensen, 2009, pers. komm.
	0,07	Kr. pr. MJ	100 %	beregnet
Diesel	0,09	Kr. pr. MJ	125 %	jf. Energistyrelsen, 2009
	3,77	Kr. pr. kg		beregnet
	4,48	Kr. pr. liter		beregnet
Benzin	0,09	Kr. pr. MJ	133 %	jf. Energistyrelsen, 2009
	4,11	Kr. pr. kg		beregnet
Kul	0,02	Kr. pr. MJ	25 %	jf. Energistyrelsen, 2009
	0,43	Kr. pr. kg		beregnet
Elektricitet	0,13	Kr. pr. MJ	190 %	jf. Energistyrelsen, 2009
Naturgas	0,04	Kr. pr. MJ	60 %	jf. Energistyrelsen, 2009
Halm	0,028	Kr. pr. MJ		jf. Energistyrelsen, 2009
100 \$-scenarie				
Råolie	106	\$ pr. tønde		Thomas Jensen, 2009, pers. komm.
	632	Kr. pr. tønde		jf. Thomas Jensen, 2009, pers. komm.
	0,11	Kr. pr. MJ	100 %	beregnet
Diesel	0,14	Kr. pr. MJ	130 %	jf. Energistyrelsen, 2009
	6,01	Kr. pr. kg		beregnet
	7,16	Kr. pr. liter		beregnet
Benzin	0,14	Kr. pr. MJ	133 %	jf. Energistyrelsen, 2009
	6,30	Kr. pr. kg		beregnet
Kul	0,03	Kr. pr. MJ	25 %	jf. Energistyrelsen, 2009
	0,65	Kr. pr. kg		beregnet
Elektricitet	0,21	Kr. pr. MJ	190 %	jf. Energistyrelsen, 2009
Naturgas	0,06	Kr. pr. MJ	60 %	jf. Energistyrelsen, 2009

Priserne er angivet i faktorpriser. I den videre beregning tillægges faktorpriserne, nettoafgiftsfaktoren NAF, på 17 %. Den betegner det gennemsnitlige nettoafgiftstryk som varer og tjenester pålægges i det danske samfund. Faktoren benyttes til at forhøje faktorpriserne, der betegner prisen rensat for afgifter og subsidier, således at disse opregnes til køberprisniveau. Det er dette prisniveau som benyttes i de velfærdsøkonomiske analyser, idet køberpriserne anvendes som indikator på den marginale nytte af goderne.

Tabellen herunder angiver øvrige priser anvendt i beregningerne. Disse priser er ikke justeret i forhold til 65 \$- eller 100 \$-scenarievarianternes brændstofpriser.

Emissionspriser	Mængde	Enhed	Kilde
CO ₂	0,1	Kr. pr. kg	Energistyrelsen, 2009
CH ₄	2,1	Kr. pr. kg	Energistyrelsen, 2009
N ₂ O	31	Kr. pr. kg	Energistyrelsen, 2009
CO ₂ eq	0,1	Kr. pr. kg	Energistyrelsen, 2009
NO _x	50	Kr. pr. kg	Energistyrelsen, 2009
SO ₂ byområder	120	Kr. pr. kg	Energistyrelsen, 2008
SO ₂ landområder	80	Kr. pr. kg	Energistyrelsen, 2009
SO ₂ gennemsnit (land/by)	100	Kr. pr. kg	jf. Energistyrelsen, 2010
Købs/salgsspriser øvrigt			
Metanol	1600	Kr. pr. ton	Emmelev, sept 2009
Kemikalier	1700	Kr. pr. ton	Emmelev, sept 2009
Glycerin	2775	Kr. pr. ton	Emmelev, sept 2009
ved substitution med kul	279	Kr. pr. ton	Beregnet ud fra kuls pris
Rapskage	1300	Kr. pr. ton	Emmelev, sept 2009
Soyaskrå	1149	Kr. pr. ton	Beregnet ud fra rapskage justeret for foderenheder
Såsåed - Hvede	2,6	Kr. pr. kg	jf. Landscentret (2008)
Såsåed - Raps	104	Kr. pr. kg	jf. Landscentret (2008)
Hvedekerner	1145	Kr. pr. ton	jf. Landscentret (2008)
Roe-melasse	1200	Kr. pr. ton	Palle Greiersen, Agrofood
N-gødning	7,0	Kr. pr. kg	Landscentret (2008)
P-gødning	13,8	Kr. pr. kg	Landscentret (2008)
K-gødning	5,6	Kr. pr. kg	Landscentret (2008)
Øvrige priser			
Timeløn	175	Kr. pr. time	Erik Maegaard, Landscentret, 2009, pers. komm.
Kørsel: Lastvogn med anhænger, last 30 tons	15,3	Kr. pr. km	jf. Møller & Slentø (2010)

Appendiks 4: Anvendte og beregnede emissionsfaktorer

		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq	NO _x	SO ₂	NMVOG	CO	NH ₃	PMtsp	Kilde
Dieselolie												
Dieselolie - direkte	G per MJ	74,0	0,006	0,003	75,1	0,740	0,000	0,030	0,146	0,000	0,018	DMU
Dieselolie - opstrøm ekskl. Nordsøolieproduktion	g per MJ	3,5	0,008	0,000	3,7	0,007	0,010	0,005	0,005	0,000	0,001	*
Dieselolie - direkte & opstrøm	g per MJ	79,4	0,015	0,003	80,7	0,756	0,010	0,035	0,151	0,000	0,019	
Benzin												
Benzin - direkte	g per MJ	72,8	0,011	0,000	73,0	1,319	0,000	0,337	2,985	0,001	0,011	DMU
Benzin - opstrøm ekskl. Nordsøolieproduktion	g per MJ	3,4	0,008	0,000	3,6	0,007	0,009	0,005	0,005		0,001	*
Benzin - opstrøm inkl. Nordsøolieproduktion	g per MJ	5,2	0,008	0,000	5,4	0,015	0,009	0,005	0,005		0,001	*
Elektricitet												
Elektricitet - direkte og opstrøm	g per MJ	185,3	0,005	0,002	186,0	0,194	0,079	0,004	0,038	0,000	0,005	Jf. Energinet.dk (2008)
Naturgas												
Naturgas – direkte	g per MJ	56,8	0,006	0,001	57,216	0,042	0,000	0,002	0,028		0,000	DMU
Naturgas – direkte & opstrøm	g per MJ	58,6	0,006	0,001	59,103	0,050	0,000	0,002	0,028		0,000	*
Olie												
Fuelolie	g per MJ	78,0	0,003	0,002	78,7	0,098	0,206	0,003	0,015	0,000	0,003	DMU
Fuelolie (råolie) - opstrøm	g per MJ	1,5	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	*
Kul												
Kul – direkte	g per MJ	95,0	0,002	0,001	95,3	0,098	0,040	0,002	0,010	0,000	0,003	DMU
Kul – opstrøm	g per MJ	6,6	0,000	0,000	6,6	0,007	0,010	0,000	0,001	0,000	0,000	JEC, 2007b p.31
Kul – opstrøm heraf transport (86 %)	g per MJ	5,6	0,000	0,000	5,7	0,006	0,008	0,000	0,001	0,000	0,000	JEC, 2007b p.31
Affald												
Affald – direkte	g per MJ	112,1	0,001	0,001	112,5	0,124	0,024	0,001	0,007	0,002	0,002	DMU
Biomasse												
Halm	g per MJ	102,0	0,001	0,001	102,4	0,131	0,047	0,001	0,063		0,004	DMU
Metanol												
Metanol - direkte	g per MJ	69,1			69,1							JEC, 2007b
Metanol - opstrøm	g per MJ	23,2	0,290	0,000	29,3							JEC, 2007c p.22
Glycerin												

Glycerin – direkte (estimeret)	g per MJ	89,7	0,003	0,002	90,4	0,098	0,040	0,002	0,010	0,000	0,003	jf. DMU
<i>Glycerin estimeringsmetode</i>		<i>molvægt</i>	<i>som olie</i>	<i>som olie</i>		<i>som kul</i>	<i>som kul</i>	<i>som kul</i>	<i>som kul</i>	<i>som kul</i>	<i>som kul</i>	
RME esterificeringsproces												
	g per MJ											
Kemikalier tilsat – opstrøm	RME	0,14			0,14							JEC, 2007b
Sojaskrå												
Sojaskrå – opstrøm **)	g per kg	247,9	0,063	-0,647	48,8							JEC, 2007b
Kalk												
Kalk emissionsfaktor	g per kg	3,8	0,001	0,000	3,9	0,037	0,000	0,002	0,007	0,000	0,001	Jf. DMU
Kunstgødning												
Kvælstofgødning (N) – opstrøm	g per kg	2793	0,23	0,05	2814	3,02	1,17	0,12	1,19	0,00	0,05	Jf. JEC, 2007b og *)
Fosforgødning (P) – opstrøm	g per kg	1014	0,06	0,02	1022	1,82	1,20	0,07	0,40	0,00	0,05	Jf. JEC, 2007b og *)
Kaliumgødning (K) – opstrøm	g per kg	501	0,05	0,01	505	0,73	0,02	0,03	0,29	0,00	0,01	Jf. JEC, 2007b og *)
Planteværn												
Pesticider, herbicider etc.	g per kg	18822	1,594	0,422	18987	59,144	10,298	2,424	12,625	0,000	1,434	Jf. JEC, 2007b og *)

* Jf. Energistyrelsen (2008a) og Energinet.dk (pers. komm.)

**) tallene reflekterer sojaskrås produktionsemissioner fratrukket biproduktet sojaolies emissioner, hvilket medfører negativ N₂O emission.

Appendiks 5: Udspecificerede emissionskonsekvenser

Dette appendiks indeholder detaljerede data for emissionskonsekvenser ved at realisere HS1 og HS2 i 65 \$- og 100 \$-varianterne, udspecificeret for de tre biobrændstoftyper, RME, 1.G.- og 2.G.-bioethanol. (Se tabel næste side)

Emissionsændringer i forhold til referencetilstand samme år (tons) – HS1 – 65 \$-variant

		Ændringer i HS1					Referencetilstand				
		2010	2015	2020	2025	2030	2010	2015	2020	2025	2030
RME	CO ₂	-859039	-1367208	-1932480	-2115716	-2294546	1175044	1870152	2643371	2894013	3138628
	CH ₄	-76	-108	-141	-147	-158	96	135	177	187	200
	N ₂ O	32	51	72	79	86	435	695	983	1077	1168
	CO ₂ eq	-851010	-1354133	-1913759	-2095084	-2272141	1312003	2088324	2951791	3231657	3504857
	NO _x	383	501	464	325	227	4436	5494	5808	5092	4881
	SO ₂	-39	-62	-88	-96	-104	435	692	978	1071	1162
	NMVOG	154	311	482	550	600	211	251	293	291	307
	CO	97	286	522	639	702	1002	1185	1376	1351	1425
	NH ₃	35	56	79	86	93	881	1403	1983	2171	2354
	PMtsp	-88	-79	-65	-42	-33	176	183	183	154	148
1.G.-ethanol	CO ₂	-151339	-136637	-124867	-113702	-100800	275381	236657	209902	191722	169761
	CH ₄	-34	-22	-17	-15	-13	60	60	58	55	50
	N ₂ O	1	1	1	1	1	172	153	138	127	112
	CO ₂ eq	-151644	-136734	-124896	-113718	-100812	330030	285332	253928	232104	205540
	NO _x	541	188	86	66	55	758	860	851	799	711
	SO ₂	-19	-17	-15	-14	-12	79	69	62	57	50
	NMVOG	-327	-125	-64	-51	-43	729	804	807	784	723
	CO	638	452	381	335	294	5622	6448	6659	6486	5908
	NH ₃	0	0	0	0	0	434	399	370	342	303
	PMtsp	-3	-3	-2	-2	-2	19	17	16	15	14
2.G.-ethanol	CO ₂	-48588	-171088	-317557	-349414	-395328	108710	379286	699313	771328	871852
	CH ₄	-6	-17	-28	-30	-33	12	37	63	66	73
	N ₂ O	-5	-18	-34	-37	-42	124	428	784	864	977
	CO ₂ eq	-48516	-170738	-316842	-348610	-394415	145465	506173	931920	1027600	1161498
	NO _x	127	272	399	420	469	327	1015	1766	1917	2159
	SO ₂	17	58	106	117	132	61	213	392	432	488
	NMVOG	-49	-75	-80	-77	-84	115	299	443	419	420
	CO	123	365	641	687	772	899	2202	2962	2681	2714
	NH ₃	-13	-45	-83	-91	-103	274	938	1709	1879	2124
	PMtsp	1	4	7	8	9	9	30	55	60	67

Emissionsændringer i forhold til referencetilstand samme år (tons) – HS1- 100 \$-variant

		Ændringer i HS1					Referencetilstand				
		2010	2015	2020	2025	2030	2010	2015	2020	2025	2030
RME	CO ₂	-790343	-1229801	-1711285	-1846831	-1974666	1081077	1682197	2340806	2526215	2701076
	CH ₄	-72	-99	-127	-132	-139	89	122	157	163	172
	N ₂ O	29	46	64	69	74	401	625	870	940	1005
	CO ₂ eq	-782981	-1218080	-1694762	-1828881	-1955448	1207128	1878472	2613938	2820948	3016236
	NO _x	365	471	439	314	228	4146	4991	5164	4448	4200
	SO ₂	-36	-56	-78	-84	-90	400	623	866	935	1000
	NMVOC	134	267	410	461	497	194	225	257	253	264
	CO	64	219	408	499	541	928	1069	1216	1177	1228
	NH ₃	32	50	70	75	80	811	1262	1756	1895	2026
	PMtsp	-80	-70	-55	-34	-26	160	163	162	135	127
1.G.-ethanol	CO ₂	-131133	-117479	-107366	-97772	-86681	238795	203508	180467	164850	145972
	CH ₄	-30	-19	-15	-13	-11	54	52	51	48	44
	N ₂ O	1	1	1	1	1	149	132	119	109	96
	CO ₂ eq	-131397	-117563	-107391	-97786	-86692	286174	245376	218338	199592	176758
	NO _x	469	162	74	56	47	657	740	731	686	611
	SO ₂	-17	-15	-13	-12	-11	69	60	53	49	43
	NMVOC	-283	-108	-55	-44	-37	667	719	721	704	651
	CO	553	389	327	288	253	4989	5637	5822	5683	5190
	NH ₃	0	0	0	0	0	376	343	318	294	260
	PMtsp	-3	-2	-2	-2	-2	17	15	14	13	12
2.G.-ethanol	CO ₂	-42101	-147100	-273049	-300462	-339956	94223	326274	601664	663666	750187
	CH ₄	-5	-14	-24	-26	-29	11	33	56	58	64
	N ₂ O	-5	-16	-29	-32	-36	107	368	674	743	840
	CO ₂ eq	-42038	-146799	-272434	-299771	-339172	126074	435387	801699	884064	999292
	NO _x	110	233	343	361	403	283	873	1521	1651	1859
	SO ₂	14	49	91	100	113	53	183	337	371	420
	NMVOC	-43	-65	-68	-66	-72	105	277	414	391	389
	CO	107	313	551	591	664	797	1960	2652	2395	2406
	NH ₃	-11	-39	-71	-78	-89	238	807	1469	1616	1826
	PMtsp	1	3	6	7	8	8	26	48	52	58

Emissionsændringer i forhold til referencetilstand samme år (tons) – HS2- 65 \$-variant

		Ændringer i HS2					Referencetilstand				
		2010	2015	2020	2025*	2030*	2010	2015	2020	2025*	2030*
RME	CO ₂	-859039	-1831503	-2963782	n.a.	n.a.	1175044	2505242	4054052	n.a.	n.a.
	CH ₄	-76	-144	-216	n.a.	n.a.	96	181	272	n.a.	n.a.
	N ₂ O	32	68	111	n.a.	n.a.	435	930	1507	n.a.	n.a.
	CO ₂ eq	-851010	-1813987	-2935070	n.a.	n.a.	1312003	2797504	4527066	n.a.	n.a.
	NO _x	383	672	712	n.a.	n.a.	4436	7360	8908	n.a.	n.a.
	SO ₂	-39	-83	-134	n.a.	n.a.	435	927	1500	n.a.	n.a.
	NMVOC	154	417	740	n.a.	n.a.	211	336	449	n.a.	n.a.
	CO	97	383	800	n.a.	n.a.	1002	1587	2110	n.a.	n.a.
	NH ₃	35	75	121	n.a.	n.a.	881	1879	3041	n.a.	n.a.
	PMtsp	-88	-106	-99	n.a.	n.a.	176	245	281	n.a.	n.a.
<i>* Pga. usikkerhed omkring supplerende RME-import er tallene for 2025 og 2030 udeladt</i>											
1.G.-ethanol	CO ₂	-151339	-139035	-139645	-140135	-142514	275381	240810	234745	236294	240013
	CH ₄	-34	-22	-19	-18	-19	60	61	65	68	71
	N ₂ O	1	1	1	1	1	172	156	154	156	158
	CO ₂ eq	-151644	-139134	-139678	-140155	-142531	330030	290340	283981	286064	290598
	NO _x	541	191	96	81	78	758	876	951	984	1005
	SO ₂	-19	-17	-17	-17	-17	79	71	69	70	71
	NMVOC	-327	-127	-71	-63	-61	729	819	902	967	1022
	CO	638	460	426	413	415	5622	6562	7447	7993	8354
	NH ₃	0	0	0	0	0	434	406	414	421	428
	PMtsp	-3	-3	-3	-3	-3	19	18	18	19	19
2.G.-ethanol	CO ₂	-48588	-239679	-387056	-439887	-484276	108710	710136	1301336	1935245	2619380
	CH ₄	-6	-24	-34	-37	-41	12	70	118	167	219
	N ₂ O	-5	-26	-41	-47	-52	124	800	1459	2168	2935
	CO ₂ eq	-48516	-239188	-386184	-438875	-483158	145465	947705	1734190	2578225	3489588
	NO _x	127	380	486	529	575	327	1900	3287	4809	6486
	SO ₂	17	81	129	147	162	61	399	729	1083	1466
	NMVOC	-49	-106	-97	-97	-102	115	559	823	1051	1263
	CO	123	511	781	865	946	899	4123	5512	6726	8154
	NH ₃	-13	-63	-101	-115	-126	274	1757	3179	4715	6380
	PMtsp	1	5	9	10	11	9	57	102	150	201

Emissionsændringer i forhold til referencetilstand samme år (tons) – HS2- 100 \$-variant

		Ændringer i HS2					Referencetilstand				
		2010	2015	2020	2025*	2030*	2010	2015	2020	2025*	2030*
RME	CO ₂	-790343	-1647432	-2624542	n.a.	n.a.	1081077	2253459	3590017	n.a.	n.a.
	CH ₄	-72	-132	-195	n.a.	n.a.	89	164	241	n.a.	n.a.
	N ₂ O	29	61	98	n.a.	n.a.	401	837	1335	n.a.	n.a.
	CO ₂ eq	-782981	-1631731	-2599201	n.a.	n.a.	1207128	2516387	4008912	n.a.	n.a.
	NO _x	365	631	673	n.a.	n.a.	4146	6686	7920	n.a.	n.a.
	SO ₂	-36	-75	-119	n.a.	n.a.	400	834	1329	n.a.	n.a.
	NMVOC	134	358	629	n.a.	n.a.	194	301	394	n.a.	n.a.
	CO	64	293	625	n.a.	n.a.	928	1431	1865	n.a.	n.a.
	NH ₃	32	67	107	n.a.	n.a.	811	1690	2693	n.a.	n.a.
	PMtsp	-80	-94	-85	n.a.	n.a.	160	219	248	n.a.	n.a.
<i>* Pga. usikkerhed omkring supplerende RME-import er tallene for 2025 og 2030 udeladt</i>											
1.G.-ethanol	CO ₂	-131133	-119532	-120056	-120472	-122507	238795	207065	201797	203122	206304
	CH ₄	-30	-19	-16	-16	-16	54	53	57	60	62
	N ₂ O	1	1	1	1	1	149	134	133	134	136
	CO ₂ eq	-131397	-119618	-120084	-120489	-122522	286174	249665	244145	245930	249813
	NO _x	469	164	83	69	67	657	753	817	846	864
	SO ₂	-17	-15	-15	-15	-15	69	61	60	60	61
	NMVOC	-283	-110	-61	-54	-53	667	732	806	867	920
	CO	553	395	366	355	357	4989	5736	6510	7002	7336
	NH ₃	0	0	0	0	0	376	349	356	362	368
	PMtsp	-3	-2	-2	-2	-2	17	15	16	17	17
2.G.-ethanol	CO ₂	-42101	-206074	-332807	-378261	-416447	94223	610839	1119466	1664693	2253020
	CH ₄	-5	-20	-29	-32	-35	11	61	103	146	192
	N ₂ O	-5	-22	-36	-41	-45	107	688	1255	1864	2523
	CO ₂ eq	-42038	-205652	-332058	-377390	-415485	126074	815116	1491656	2217525	3001151
	NO _x	110	327	418	455	494	283	1635	2830	4141	5583
	SO ₂	14	69	111	126	139	53	343	626	931	1260
	NMVOC	-43	-91	-83	-83	-88	105	518	770	980	1169
	CO	107	439	672	744	813	797	3669	4935	6008	7225
	NH ₃	-11	-54	-87	-99	-109	238	1510	2733	4053	5484
	PMtsp	1	5	8	9	9	8	49	89	130	174

Appendiks 6: Oversigt over antagelser

RME produktion

Landbrugsproduktion

- Der inddrages hvedemarker til fordel for raps.
- Der antages uændrede produktionsrammer (bygninger/maskiner) for raps som for hvede, mens driftsomkostninger i marken er anderledes.
- Der mistes 26 % hvedehalm til kraftværker, denne substitueres af marginalenergien kul.
- Resten af hvedehalmen der hidtil har været nedmuldet (42 %) eller anvendt til foder (20 %) og strøelse (12 %), mistes uden økonomisk, energimæssig eller kulstofmæssig tab. Sådanne tab antages udlignet fra andre markers overskudshalm. Procentsatser, jf. Danmarks Statistik (2009).

Rapshalm

- Rapshalmen antages 100 % bjerget og anvendt som brændsel.
- Rapshalmen *prissættes* efter hvedehalms pris i mangel af rapshalmpris (justeret for svag forskel i brændværdi).
- Rapshalmen substitueres *energimæssigt* med kul (inkl. opstrømsenergi) på baggrund af brændværdier.
- Rapshalmens direkte *emissioner* fratrækkes kuls undgåede direkte emissioner.

Rapskage

- Rapskage *prissættes* efter salgspris (der er afhængig af sojaskrås pris).
- Rapskage substitueres *energimæssigt* (foderenheder) med sojaskrå (inkl. opstrømsenergi).
- Rapskagens emissioner fra dyr udlignes af sojaskrås, og sojaskrås opstrømsmissioner indregnes ikke, da de finder sted uden for Danmark.

Glycerin

- Glycerin substitueres *energimæssigt* med kul (inkl. opstrømsenergi (idet det antages at Glycerin anvendes som brændselstilskud).
- Glycerin *prissættes* efter kuls pris justeret efter energiindhold.
- Glycerinens *emissioner* er ukendte, hvorfor de beregnes. CO₂ beregnes ud fra C-indhold per mol, CH₄ og N₂O ud fra fuelolies emissionskvotienter og andre emissioner ud fra kuls kvotienter.
- Glycerinens indhold af Carbon regnes som fossil, idet den antages at stamme fra metanol-inputtet, der er af fossil naturgasoprindelse (herved undgås det at man skal regne metanolens andel af fossil Carbon ind i biodieselen, der nu kan regnes som 100 % CO₂-neutral) (jf. Ole Kenneth Nielsen, DMU)

Hvedeethanol (1.G.) produktion

Landbrugsproduktion

- Der antages uændrede produktionsforhold på hvedemarken.
- Som hidtil afsættes 26 % hvedehalm til forbrænding, og resten nedmuldes eller anvendes til foder og strøelse.

DDGS biprodukt

- DDGS er et proteinholdigt biprodukt fra Ethanolproduktionen der anvendes som foder. Substitueres *energimæssigt* (foderenheder) med sojaskrå (inkl. opstrømsenergi)
- DDGS *prissættes* efter sojaskrås pris (justeret for foderenhedindhold).
- DDGS-emissioner fra dyr udlignes af sojaskrås, og sojaskrås opstrøms-emissioner indregnes ikke, da der er eksteriør Danmark.

Hvedeethanol (2.G.) produktion

Landbrugsproduktion

- Antages uændrede produktionsforhold på hvedemarken.
- Hvedekerner afsættes uændret til eksport.
- 26 % hvedehalm går fortsat til kraftværksforbrænding.
- Af restpuljen på 74 % hvedehalm, antages der at kunne anvendes 50 % halm til ethanol.

Halmmelasse biprodukt

- Halmmelasse er et biprodukt fra 2.G-ethanolproduktionen der antages anvendt som foder. Substitueres *energimæssigt* med foderhvede, inkl. opstrømsenergi.
- Halmmelasse *prissættes* efter foderhvedes pris.
- Halmmelasses emissioner fra dyr udlignes af hvedes, mens opstrøms-emission indregnes.

Biomasse biprodukt

- Ud over halmmelasse opstår der øvrig biomasse som biprodukt, der kan anvendes som brændsel, jf. Hedegaard Jensen & Thyø (2007). Biomassen substitueres *energimæssigt* med kul, justeret for energiindhold.
- Biomassen *prissættes* efter substitutionsprodukt, dvs. kul, justeret for energiindhold.
- Biomassens emissioner beregnes ud fra standardkvotienter hvorfra trækkes den substituerede kuls direkte emissioner. Der tillægges ikke indirekte emissioner, da kul ikke antages at have opstrøms-emissioner inden for Danmarks grænser.

Fossile brændstoffer

Råolie

- Det antages at Nordsøolieproduktionen ikke sænkes som følge af biobrændstofintroduktion, således at produktionsemmissioner er uaf-

hængige af indfasning af biobrændstoffer (jf. Kaj Jørgensen, Risø, 2007).

Fossil diesel og benzin

- Både benzin og diesel antages produceret i Danmark fra dansk Nordsøolie, og prissættes i forhold til oliens pris (se appendiks 2). Denne pris anses at svare til marginale kapital- og driftsomkostninger ved produktionsanlæg.
- Hvis diesel- og benzinraffineringen ophører i mængder svarende til biobrændstoffer, sparer samfundet produktionsudgifter. Hvis produktionen fortsætter og overskudsbrændstofferne i stedet eksporteres, vinder samfundet en valutaindtægt. Begge tilfælde giver samme velfærdsøkonomiske gevinst. Selv om produktionen af fossilt diesel og benzin i Danmark måske umiddelbart fortsætter i samme niveau, antages det, at den i det lange løb falder afhængigt af biodieselindfasningen (jf. Kaj Jørgensen).
- Emissionsmæssig regnes raffinaderiemissioner vedrørende diesel og benzin som danske i overensstemmelse med virkeligheden, da raffineringen for størsteparten finder sted i Danmark. Emissioner ved Nordsøekstraktionen af råolie regnes til gengæld ikke med, idet disse emissioner antages at fortsætte uafhængigt af den danske benzin og dieselproduktion.

Antagelser om transport af produkter fra led til led

Transportens bidrag til energiforbrug, emissioner og omkostninger per enhed biobrændstof er marginalt i forhold til dyrkningsomkostninger og konverteringsomkostninger. For fuldstændighedens skyld er de vigtigste transportere medregnet, om end som oftest sat til afstande, så reference- og scenariosituation ophæver hinanden. Der er generelt antaget en lastbil med anhænger med lasteevne på 30 tons ved komprimerede læs (f.eks. korn) og 20 tons ved løsere læs (f.eks. halm).

Scenariesituation	Referencesituation eller substitution		Bemærkning
RME	km	km	
Rapsfrø til raffinaderi	75	Hvedekerner til Danmarks grænse	75
Rapshalm til kraftværk	50	Kul til kraftværk	0 Substitutionsprodukt
Hvedehalm til kraftværk	50	Kul til kraftværk	0 Substitutionsprodukt
Metanol an fabrik	50		
RME til depot/tankstation	75		
Rapskage til grovvareselskab	50	Sojakage fra Danmarks grænse*	50 Substitutionsprodukt
Glycerin til kraftværk	50	Kul til kraftværk	0 Substitutionsprodukt
		Råolie til raffinaderi	0 Indskibes
		Fossil diesel til depot/tankstation	75
1.G.-ethanol			
Hvedekorn til raffinaderi	75	Hvedekorneksport	75
DDGS til grovvare	50	Sojakage fra Danmarks grænse*	50 Substitutionsprodukt
Ethanol til tank	75	Fossil benzin til tank	75
		Råolie til raffinaderi	0 Indskibes
2.G.-ethanol			
Hvedehalm til fabrik	75	Halmnedmuldning	0
Melasse	50	Hvedekerner ej eksporteret	- 75** Substitutionsprodukt
Biomasse	50	Kul til kraftværk	0 Substitutionsprodukt
Ethanol til tank	75	Fossil benzin til tank	75
		Råolie til raffinaderi	0 Indskibes

Appendiks 7: Detaljeret beskrivelse af produktionsdata - Landbrug

Grundlæggende stammer de direkte proces- og omkostningsdata fra Landscentrets budgetkalkuler for 2005 til 2008 ((Landscentret, 2009). Proces- og mængdedata stammer fra 2008-angivelsen, mens priser og værdier er taget som pristalsreguleret gennemsnit fra 2005-2008, udtrykt i 2008-priser. Begrundelsen for de to metoder er, at priserne antages at svinge over årene, mens processer og mængder udvikler sig kontinuerligt, således at nyeste tal repræsenterer state-of-the-art. Budgetkalkulerne er opdelt i lerede jorde (Jordbundsklassifikation JB 5-6) og sandede jorde (jordbundsklassifikation JB 1&3).

I de følgende afsnit dokumenteres tal og metoder anvendt i scenarieberegningerne.

Jordbundstyper

For både hvede og rapsproduktion er der antaget en dyrkningsfordeling på 70 % lerede jorde og 30 % sandede jorde, hvoraf halvdelen antages vandet, dvs. 15 % af det samlede areal. Antagelsen gælder for både reference- og scenariosituationerne og bygger på hidtidig praksis. Således er input- og outputparametre vægtet efter disse forhold (jf. Gyldenkærne (pers. komm) og Feidenhansl (pers. komm).

Såsæd

Opstrømsenergien for at producere såsæden er marginal; ifølge JEC (2007b) 7,14 MJ per kg rapssåsæd og 2,88 MJ per kg hvedesåsæd. Emissionerne til denne produktion betragtes som marginale og udelades af beregningerne. Såsædens egen energi er heller ikke indregnet.

Gødning

Landscentrets budgetkalkuler angiver det totale gødningstilskud af N, P og K, dvs. kvælstof, fosfor og kalium. For kvælstof vil en væsentlig del være organisk gødning fra husdyrhold.

I Landscentrets budgetkalkuler (Landscentret, 2009) er angivet normer for maksimal tilførsel af gødningsstoffer, enten i organisk eller syntetisk form. Ud fra normer og antagelser om husdyrgødningsudbringning per ha, er mængden af syntetisk kvælstofgødning beregnet som differencen herimellem og den maksimalt tilladte mængde.

Dyreenheder (DE) er defineret ud fra, hvor mange dyr af en speciel type (svin, kvæg etc.) der skal til for at levere 100 kg kvælstof i gødning per år, dvs. 1 DE svarer til 100 kg kvælstof.

For svin er standarden for maksimal organisk gødningsudbringning det der svarer til 1,4 DE per hektar, som svarer til ca. 140 kg N per ha. For kvæg er standarden 1,7 DE svarende til ca. 170 kg N per ha. Heraf indrages hhv. 75 % og 65 % af kvælstoffet, som repræsenterer den såkaldt

anvendelig form af kvælstof, i beregningerne om maksimal tilførsel af kvælstof som gylle. Gødning i anvendelig form er den andel der kan optages af planterne. Dette giver hhv. 105 kg per ha ($140\text{kg} \cdot 75\%$) for svinegødning og 110,5 kg ($170\text{kg} \cdot 65\%$) for kvæggødning. Den resterende mængde op til den totale, maksimalt tilladte mængde udfyldes med kunstgødning. Tallene gælder for gylle, hvilket antages at være formen som organisk gødningen tilføres i.

I herværende studie er der estimeret en dyreenhedsfaktor på 0,5 DE for bedrifter hvor der vil blive dyrket raps og hvede. Det er antaget at bedrifter der dyrker energiafgrøder ikke har en så intensiv husdyrdrift som andre. Jf. Danmarks Statistik (2009) er gennemsnittallet for 2008 for alle Danmarks bedrifter i forhold til alt dyrket jord på 2,1 mio. DE per 2,7 mio. ha, eller ca. 0,8 DE per ha.

En tilførsel af dyregødning svarende til 0,5 DE, er 50 kg per ha. Ganget med 75 % fås den anvendelige del dvs. 37,5 kg per ha.

Herefter kan mængden af supplerende syntetisk kvælstofgødning beregnes. Tabellen herunder angiver ovennævnte antagelser og udregning af kvælstoftilførslen ved de respektive marker.

Antagelser og beregning af organisk og syntetisk kvælstoftilførsel

	Raps		Hvede	
	JB 1&3	JB 5-6	JB 1&3	JB 5-6
Kvælstofnorm per ha	155 kg	171 kg	144 kg	160 kg
Organisk gødning udbringningsmaksimum fra svin	140 kg	140 kg		
Antagelse om kvælstofgødning udbringelse per ha i praksis	50 kg	50 kg	50 kg	50 kg
Beregnet udbringning af organisk gødning i anvendelig form (75 % af 50 kg)	37,5 kg	37,5 kg	37,5 kg	37,5 kg
Rest dækket af kunstgødning	117,5 kg	133,5 kg	106,5 kg	122 kg

Antagelserne om udbringningsmængder af husdyrgødning har taget udgangspunkt i rapsdyrkning, hvor det primært er svinegødning der tilføres. Det er antaget, at de samme forhold gør sig gældende for en gennemsnits hvedemark, hvilket giver nogen usikkerhed, idet hvedemarker tilføres husdyrgødning i anden kvalitet og mængde, nemlig med mere kvæggødning iblandet svinegødning.

Husdyrgødningen bidrager også til fosfortilførslen, men i marginale mængder hvad angår fosfor i anvendelig form, hvorfor dette forhold er udeladt af beregningerne. Dette ændrer ikke ved den problematik at der overudvaskes fosfor fra markerne.

Opstrømsenergiforbruget til produktion og transport af kunstgødningen er beregnet på basis af data fra JEC (2007b), der opgiver energiforbruget per kg gødningsstof.

N gødning	45	MJ pr. kg
P gødning	15	MJ pr. kg
K gødning	9	MJ pr. kg

Kunstgødningen antages importeret, hvorfor opstrømsproduktionsemissioner ikke medregnes i det nationalt afgrænsede emissionsregnskab.

Husdyrgødningens produktionsenergi og relaterede emissioner er defineret som nul i dette studie.

Emission fra husdyr- og handelsgødning

Ved omsætningen af kvælstof frigives emission af N₂O og NH₃, hvilket afhænger af kvælstofmængden.

Emissionen for NH₃ fra handelsgødning er baseret på det landsdækkende forbrug af handelsgødning, hvor NH₃-emissionen varierer afhængig af gødningstype. Emissionsfaktoren er angivet som et vægtet gennemsnit der dækker over forbruget og sammensætning af gødningstyper i årene 2006-2008 baseret på de årlige opgørelser fra Plantedirektoratet - <http://pdir.fvm.dk/Default.aspx?ID=2057> - og emissionsfaktorer angivet i EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2009 - <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>.

Emissionen fra husdyrgødning er beregnet på baggrund af den danske ammoniakopgørelse som er baseret på normtallene udarbejdet af Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet <http://www2.dmu.dk/Pub/FR776.pdf>. Emissionsfaktoren for NH₃ er beregnet som andelen af ammoniak der forekommer ved udbringning, sammenholdt med den totale mængde N i husdyrgødning der udbringes på marken (NabLager). Som for handelsgødningens vedkommende er anvendt et gennemsnit for årene 2006-2008.

EF % NH ₃ af total N		2006	2007	2008	Gennemsnit i pct.
Handelsgødning	EF % NH ₃ af N udbragt	2,26	2,30	2,20	2,25
Husdyrgødning	EF % NH ₃ af NabLager	9,91	10,11	9,87	9,96

Beregningen af N₂O-emissionen er baseret på IPCC guidelines som angiver en emissionsfaktor på 1,25 % af den udbragte mængde N. Dog skal ammoniakemissionen fratrækkes. Ved omregning fra N₂O-N til N₂O anvendes forskel i molvægt, hvilket betyder, at 1 kg N₂O-N svarer til $1 \cdot 44 / 28$ kg N₂O = 1,57 kg N₂O.

Forfrugtseffekt ved raps

I løbet af vækstsæsonen akkumuleres der relativt store mængder kvælstof i rapsplantens rødder som således bliver tilgængelig for næste års kornplanter og forårsager et ca. 10 % højere udbytte end normalt og reducerer behovet for kvælstofgødning. Raps dyrkes med mindst 4 års intervaller på de enkelte jorde for at undgå rapsrelaterede plantesygdomme (Dansk Landbrugsrådgivning, 2005). Dette betyder således også, at der er et maksimalt rapsdyrkningspotentiale på 25 % af afgrødeproduktionen. Standardtallet for forfrugtseffekten er 27 kg kvælstof per ha, jf. Plantedirektoratet, 2008.

Forfrugtseffekten kan, afhængig af analysen, ses som en værdiforøgelse ved rapsproduktionen eller en besparelse ved den efterfølgende korn dyrkning.

I RME-scenariet i herværende projekt, hvor der skiftes til raps fra hvede, ses forfrugtseffekten som en økonomisk gevinst der realiseres ved næste års kornproduktion, der har mindre behov for kvælstoftilførsel og får større udbytte end normalt.

Pesticider

Størrelsen af pesticidanvendelsen i Danmark er usikker. Der anvendes estimater fra Henrik Huusum " Beskrivelse af Landbrugets pesticidanvendelse" (2001), hvor der angives 1,73 kg per ha for hvedemarker og 0,56 kg per ha for rapsmarker. Værdierne er mindre end hvad der kan udledes af udenlandske referencer, som f.eks. JEC (2007b), men er i tråd med en artikel af L.N. Jørgensen (2009) i Landbrugsavisen.

Generelt set kan pesticidandele specificeres således for en gennemsnitsmark: 0,25 kg per ha herbicid af mærket "Command" tilført én gang om året. Maksimalt 0,5 liter per ha fungicid og 0,1 liter per ha insecticid 2-3 gange om året (jf. Feidenhansl, pers. komm.).

Produktionsenergien opstrøms citeres fra JEC (2007b) til et gennemsnit på 273 MJ per kg. JEC refererer selv fra ADEME (2002) som angiver værdier i intervallet 175-576 MJ per kg. Tallet er selvsagt behæftet med stor usikkerhed, men vælges i dette studie som bedste skøn.

Pesticiderne antages produceret i udlandet, hvorfor opstrømsemmissioner ikke indgår i beregningerne for danske emissioner.

Kalk

Kalk, der er basisk virkende, tilføres danske jorde, for at opretholde den rette surhedsgrad. Kalken antages udvundet i Danmark. Tilførslen af kalk er ikke opgivet i budgetkalkulerne i mængder, men sker med en 3-4 års mellemrum, naturligvis afhængig af den enkelte jords behov.

Kalken tilføres i temmelig rå form fra brydningsstedet. Energiforbruget afhænger af de konkrete lokaliteter og forekomster. Faxekalk (pers. komm.) og Dankalk a/s (pers. komm.) angiver til herværende projekt et energiforbrug som vist i tabellen herunder, hvorfra der er valgt et gennemsnit.

Energiforbrug ved kalkproduktion.

Energi pr kg	Faxe Kalk	Dankalk a/s	Gennemsnitligt energiforbrug
Elektricitet	75 kWh	0,5 kWh	
Diesel olie	1,7 liter diesel	0,9 liter diesel	
Samlet energiforbrug	0,064 MJ pr. kg	0,034 MJ pr. kg	0,049 MJ pr. kg

Emissionerne beregnes ud fra energiforbruget og emissionsfaktoren for fossil diesel, inklusiv dennes opstrømsemmissioner. At anvende diesels emissionsfaktor er altså en tilnærmelse, idet der også indgår elektricitet i kalkens produktionsenergi.

Andre tilsætningsstoffer

Forskellige kemikalier tilsættes landbrugsjorden, hvis nødvendigt. Dette gælder stoffer som svovl, magnesium og bor. Mængderne er marginale og er ikke medregnet i energiregnskabet. Dog er svovl tilført rapsmarker medregnet i det omkostningsmæssige regnskab. Ifølge budgetkalkulerne (Landscentret, 2008) tilføres der normalt 30-40 kg S til en udgift på 70-100 kr. per ha.

Kunstvanding

Det estimeres at 50 % af raps på sandede jorde vandes, jf. Feidenhansl, pers. komm. Vandingsbehovet per hektar og omkostningerne hertil er opgivet i Landscentrets (2009) budgetkalkuler. I artiklen "Økonomi i markvanding af korn" (Kolind Hvid, 2008) angives et effektbehov på 0,44 kWh elektricitet per m³ vand som det samlede energiforbrug per ha vandet gennemsnitsjord. Således er emissionerne vedr. kunstvanding, beregnet ud fra elektricitets opstrømsenergi.

Maskin- og arbejdsomkostninger

Landscentres budgetkalkuler opgiver maskin- og arbejdsomkostninger som én samlet post. Disse kan dog groft opdeles i følgende gennemsnitlige omkostningsposter, ifølge Erik Maegaard (pers. komm.) fra Landscentret.

Vedligehold	20 %
Brændstof (ved 4,5 kr. pr. liter)	10 %
Løn (ved 175 kr. pr. time)	27 %
Afskrivning og forretning (ved 5 % i rente)	43 %

Ud fra dette kan det gennemsnitlige energiforbrug således beregnes, ligesom afskrivnings- og vedligeholdelsesomkostningerne kan omregnes til velfærdsøkonomisk værdi (jf. Møller & Slentø, 2009). Brændstofforbruget antages at være diesel som går til diverse arbejdsmaskiner i marken. Således beregnes emissionerne ud fra dieselolies emissionsfaktorer.

Tørring af afgrøder

Energi til tørring af afgrøderne er inkluderet i den samlede post i budgetkalkulen.

Udbyttet

Udbyttetallene - som der opereres med i scenarierne og referencesituationen - er beregnet ud fra Landscentrets (2008) budgetkalkule og angives herunder. Rapsudbyttet er fordelt efter de angivne procenter jord og vandingstyper. Dette udbytte antages også at opstå i scenariesituationerne. Raps antages at blive dyrket på nuværende hvedearealer.

Hvedekerner og halmen der går til bioethanolproduktion, regnes med at stamme fra arealer der også er hvedearealer i referencesituationen. Hvedeudbyttet er yderligere vægtet efter at udbyttet "efter raps" er højere end "efter korn", som følge af den forfrugtsværdi raps efterlader til næste års afgrøde. Denne vekseldrift med raps hvert fjerde år og hvede tre ud af fire år, repræsenterer en typisk referencesituation - altså land-

brugsdriften som den er i dag. Den raps der således er tale om her, er uafhængig af den raps der vil blive dyrket i scenariesituationen.

	JB 5-6	JB 1&3 (ej vandet)	JB 1&3 (vandet)	Gns.
Kg pr. ha	70 %	15 %	15 %	
Rapsfrø (Vinterraps)	3600	2300	3100	3330
Rapshalm (Vinterraps)	3000	2400	2769	2875
Hvedekerner (Vinterhvede) efter raps – 25 %	9000	5400	7400	8220
Hvedekerner (Vinterhvede) efter korn – 75 %	8100	4900	6700	7410
I alt				7613
Hvedehalm (Vinterhvede) efter raps – 25 %	4700	3500	4167	4440
Hvedehalm (Vinterhvede) efter korn – 75 %	4400	3200	3875	4141
I alt				4216

Appendiks 8: Detaljeret beskrivelse af produktionsdata – RME konvertering

Data for konverteringen af rapsfrø til raps-methyl-ester (RME) stammer fra personlig kommunikation med Emmelev Mølle a/s.

Produktion af RME på Emmelev Mølle a/s		
Presningsproces (tons)	Input	Output
Frø input	174000	
Rapsolie		67651
Rapskage m/vand		103800
Rest		2549
Esterificeringsproces (tons)	input	output
Rapsolie	67651	
Diverse tilsætningsstoffer	1401	
Metanol tilsættes	8263	
Biodiesel		66569
Restfuel		1015
Råglycerin		8795
Rest		936

Energiforbruget ved ovenstående produktion er angivet herunder.

Energiforbrug på Emmelev Mølle a/s ved RME-produktion. Elektricitetsforbrug i kWh og Naturgasforbrug i m³.

Samlet energiforbrug			
Elforbrug	50	kWh	Pr. ton frø
Naturgas	14,5	m ³	Pr. ton frø
Detaljeret energiforbrug			
Presning	44	kwh	Pr. ton frø
	12	m ³	Pr. ton frø
Esterificering	12	kwh	Pr. ton olie
	5	M ³	Pr. ton olie
Sammenlagt presning & esterificering	48,7	kwh	Pr. ton frø
	13,9	m ³	Pr. ton frø
Andet (bl.a. rensning af glycerin)	1,3	kwh	Pr. ton frø
	0,6	m ³	Pr. ton frø

Emmelev Mølle a/s er citeret i Energistyrelsens rapport om biodiesel (Energistyrelsen, 2003) for investeringsomkostningerne i 2002-faktorpriser som vist herunder. Det har ikke været muligt for Emmelev Mølle a/s at give et nyt estimat på investeringsomkostningerne i dagens tal. Der nævnes at en udvidelse af deres anlæg med 100.000 ton til den dobbelte kapacitet, langt fra vil være ensbetydende med nedenstående grundlæggende investeringsudgifter. Tallet vælges dog som bedste estimat, dog ikke pristalsjusteret, hvilket indebærer, at de oprindelige investeringsomkostninger er nedskrevet siden 2002-offentliggørelsen med det der svarer til inflationen frem til i dag, 2009.

Hvad angår driftsudgifterne estimerer Emmelev Mølle a/s (pers. komm.) at de er de samme som i 2002 uden pristalsjustering, pga. produktionseffektiviseringer.

Investerings og driftsomkostninger Emmelev Mølle a/s

Investering (ENS, 2003)	215	Mio. kr. ekskl. NAF
Drift og vedligeholdelse (Emmelev Mølle a/s, 2009)	0,447	Kr. pr. kg RME inkl. NAF

Driftsomkostningerne er opgivet inklusiv nettoafgiftsfaktoren (NAF) på 17 %.

Appendiks 9: Detaljeret beskrivelse af produktionsdata - Første generations bioethanolkonvertering (1.G.)

Første generations bioethanol produceres ikke i Danmark på anlæg i fuld skala. Data for input og output er citeret fra JEC (2007b). Disse tal ligger i samme størrelsesorden som i COWI (2007) der refererer til oplysninger fra Elsam uden nærmere specifikation.

1.G.-hvedeethanol produktionsdata				
	Input	Output	Enhed	Kilde
Hvedekerne input	1,8644		MJ per MJ ethanol	JEC
Naturgas	0,4044		MJ per MJ ethanol	JEC
Elektricitet	0,054		MJ per MJ ethanol	JEC
DDGS		0,043	Kg per MJ ethanol	JEC
Ethanolproduktion		0,28 t ethanol per t hvede		Beregnet*
Ethanolproduktion		2141	kg ethanol per ha	Beregnet*
*Beregningsfaktorer				
Energiindhold	26,7	MJ pr. kg ethanol		COWI
Energiindhold	14,0	MJ pr. kg kerner		COWI

Note: Tallene fra J-E-C er angivet for et typisk ethanol konverteringsanlæg (JEC 2007b, p.50 (WT4a).

Fra samme kilde, Elsam, refererer COWI-studiet (2007) omkring investerings- og driftsomkostninger, hvilke værdier der anvendes i herværende studie. Energiselskabet Elsam, der nu er lagt ind under DONG Energy, har stået for et 1.G.-bioethanolforsøgsanlæg i Studstrup (Kornholm Christensen & Hundebøl, 2006), og antages således at kunne levere estimater for den praktiske produktion under danske forhold.

Investerings og driftsomkostninger i faktorpriser, dvs. eksklusiv NAF

		enhed	kilde
Kapacitet	137.375.000	Kg ethanol pr. år	
Investering	537.500.000	Kr.	COWI
Årlige investeringsomkostninger (20 år – 4 % rente)	39.550.191	Kr. pr. år	COWI
Drift og vedligeholdelse	3,28	Kr. pr. GJ ethanol	COWI
Beregnet pr kg bioethanol			
Årlige investeringsomkostninger (20 år – 4 % rente)	0,288	Kr. pr. kg ethanol	beregnet
Drift og vedligeholdelse	0,088	Kr. pr. kg ethanol	beregnet

Appendiks 10: Detaljeret beskrivelse af produktionsdata – Anden generations bioethanolkonvertering (2.G.)

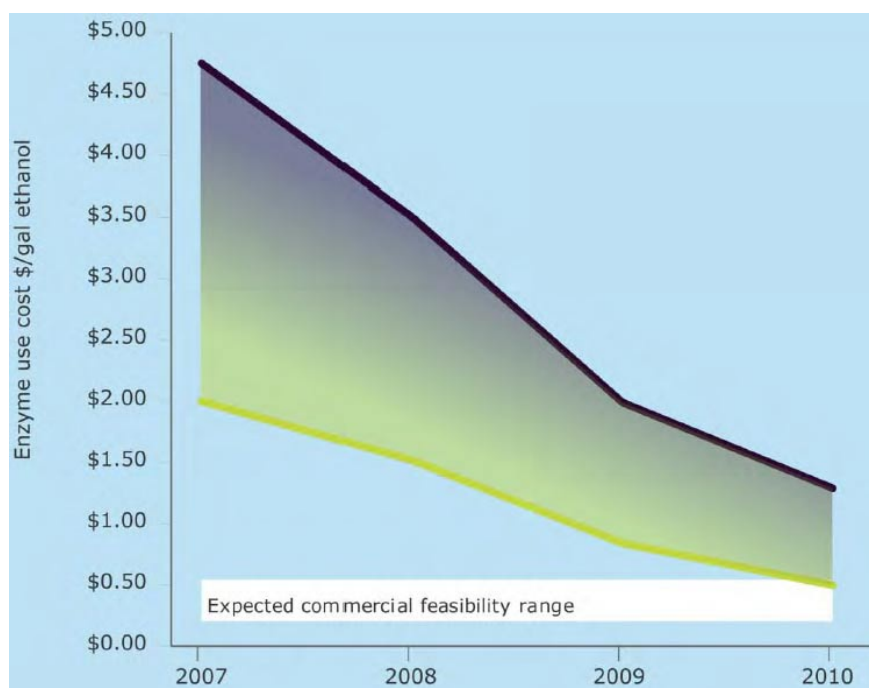
Data stammer grundlæggende fra Hedegaard Jensen & Thyø (2007) der beskriver et IBUS-anlæg mht. 2.G.-bioethanol. Data er gengivet i tabellen herunder. Data fra DONG Energy om deres nyåbnede anlæg, Inbicon, i Kalundborg har det ikke været muligt at indhente. Efter samtale med Henrik Wenzel (pers. komm.), der var vejleder på ovenstående specialestudium, er det besluttet at lægge data fra Hedegaard Jensen & Thyø (2007) til grund, hvilket ikke anses at være til ugunst, idet man måske kan have problemer med at leve op til tallene i den praktiske produktion. Forfatterne beskriver en IBUS-proces (Integrated Biomass Utilisation System), hvor bioethanolproduktionen er integreret med et konventionelt kulfyret kraftværk, hvorved der opstår besparelser i energiforbruget, især fordi man genbruger overskudsvarme. Herværende projekt har valgt at tillempe data, så de beskriver en "stand-alone" proces. Dette er gjort ved at tolke det dampinput som Hedegaard Jensen & Thyø (2007) beskriver i kWh, som stammer fra et kulfyret dampanlæg, og ikke fra overskudsvarme fra konventionel kraftvarme-produktion. Grunden til at der vælges et kulfyret varmekværk som dampkilde, f.eks. ikke et gasfyret anlæg, er, at bioethanol-fermenteringsprocessens biomassebiprodukt i dette projekt er valgt at substituere kul på markedet. Dette betyder, at det i princippet er ligegyldigt om der reelt vælges kul udefra eller processens egen biprodukt-biomasse til dampkedlerne.

2.G. Hvedeethanolproduktionsdata baseret på Hedegaard Jensen & Thyø, 2007

Totaler		Pr. enhed	Bemærkning
Input	160.000.000	Kg halm	
Elektricitet		0,192 kWh pr. kg halm	
LPG		0,006 kWh pr. kg halm	
Damp produceret fra kul		1,100 kWh pr. kg halm	Antagelse om kul som produktionskilde
Vand		0,020 Kg pr. kg halm	Ignoreret
output			
Bioethanol	34.720.000	Kg ethanol	
Bioethanol	44.000.000	Liter ethanol	
Bioethanol		0,217 Kg ethanol pr. kg halm	
Melasse (30 % vand)		0,254 Kg pr. kg halm	
"Biomasse"		0,353 Kg pr. kg halm	
Investering	590	Mio. kr.	16,993 Kr. pr. kg ethanol
Afskrivning (20 år, 4 %)	51,44	Mio. kr. pr. år	1,482 Kr. pr. kg ethanol
			beregnet
Drift og vedligehold	21	Mio. kr. pr. år	0,605 Kr. pr. kg ethanol
Enzympriser 2006		0,950 Kr. pr. liter ethanol	(ej anvendt)
Enzympriser 2010		0,570 Kr. pr. liter ethanol	
Enzympriser 2015		0,300 Kr. pr. liter ethanol	(ej anvendt)
Enzympriser 2020		0,160 Kr. pr. liter ethanol	(ej anvendt)
Enzympriser 2025		0,160 Kr. pr. liter ethanol	(ej anvendt)
Enzympriser 2030		0,160 Kr. pr. liter ethanol	(ej anvendt)

Enzymprisudvikling

Priserne på enzymer betragtes traditionelt som en afgørende faktor for om 2.G.-bioethanolproduktionen kan betale sig. Ifølge Novozymes (2009), der producerer enzymer til 2.G.-bioethanolanlæg, var gennemsnitsprisen i 2009 per gallon produceret bioethanol ca. 1,5 \$, hvilket svarer til 2,0 kr. per liter (2008 valutakurs). Forventet pris i 2010 er på 0,9 \$ per gallon svarende til 1,2 kr. per liter. Se figur herunder.



Graf over prisudviklingen for enzymer til bioethanolproduktion, med angivelse af maksimums- og minimumspriser. Kilde: Novozymes (2009).

Dollar-priserne er aflæst af den grafiske fremstilling som intervalgennemsnit. I 2010 vil intervallet være 0,5\$ til 1,25\$ per gallon, hvilket svarer til et interval på 0,7-1,7 kr. per liter, eller 1,2 kr. per liter i gennemsnit.

Prisfastsættelsen sker altså i nært samarbejde med aftageren, og det må antages, at der forhandles en pris som gør hele produktionsprocessen rentabel.

For 2010 har Hedegaard Jensen & Thyø (2006) beregnet 0,57 kr. per liter, hvilket altså er ret tæt på Novozymes ny estimats nedre værdi på 0,7 kr. per liter. Novozymes ønsker ikke at oplyse hvor priserne for dansk produceret ethanol forventes at ligge, i forhold til den skitserede proces der ligger tæt op ad Inbicons. Men offentliggørelser i pressen primo 2010 har indikeret en pris på det danske marked på omkring 0,7 kr. per liter bioethanol.

Gennemsnitstallet for 2010 på 1,2 kr. per liter ethanol, er fremskrevet med samme rate som i Hedegaard Jensen & Thyø (2007).

Scenario		2006	2010	2015	2020	2025	2030
HS1 og HS2	Kr. pr. liter ethanol	0,95	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2
	Kr. pr. liter ethanol		1,2	0,6	0,3	0,3	0,3

Johan Mogensen (pers. komm.) fra Novozymes, oplyser i EA Energianalyse (2009), en anslået pris på 0,4 kr. per liter ethanol i 2015, hvilket altså ligger imellem de to ovennævnte estimater, men prisen dokumenteres ikke som hørende specifikt til danske forhold.

Prisudviklingen fra 2010 og videre frem er ikke indregnet i denne rapports scenarier, hvilket skyldes at det er valgt at holde alle produktionsfaktorer konstante.

I kapitel 6.3 er der udført en følsomhedsanalyse, hvor der i stedet for prisen på 0,6 kr. per liter ethanol anvendes 1,2 kr. per liter bioethanol.

Appendiks 11: Detaljeret beskrivelse af fossilt brændstofs data

Energiforbruget i produktionsprocesserne er mest af alt knyttet til brændstofforbrug; det være sig diesel til landbrugsmaskiner, diesel til lastvogne og diesel, elektricitet eller naturgas til konverteringsprocesserne. Der er dog undtagelser. I RME-produktionen indgår metanol som tilsetningsstof, hvor energiindholdet ikke forbruges men bliver en del af det færdige RME-produkt.

Brændstoffer antages produceret i Danmark. Dieselen er raffineret ud fra dansk Nordsøolie og naturgassen er direkte fra Nordsø-felterne. Elektriciteten anses som genereret ud fra en gennemsnitlig dansk sammensætning af energikilder, hvoraf hovedparten er importeret kul, men også olie, gas og vedvarende energi i form af biomasse og vindenergi. Brændstoffernes opstrømsproduktionsenergi, altså den energi der går til at producere og transportere energien, er medregnet. Det samme gælder opstrømsenergiens emissioner, i de tilfælde hvor de opstår inden for Danmarks grænser, som jo udgør studies systemafgrænsning.

Beregning af råolie og naturgas opstrømsenergi

Fossil diesel og benzin der anvendes i Danmark antages produceret fra råolie fra Nordsø-felterne, og al naturgas antages at stamme samme sted fra. Dette giver et behov for at beregne det eksakte energiforbrug ved udvinding og transport af olien og naturgassen til raffinaderi og forbruger, idet det ikke følger standardværdier for f.eks. olie fra mellemøsten.

Tabellen herunder angiver den samlede opstrømsenergi ved olie og naturgasproduktion, med og uden flaring produceret i Nordsøen, baseret på Energistyrelsen (2008a).

MJ pr. MJ produkt	Ekstraktionssted	Landdistribution	Samlet opstrømsenergiforbrug
Naturgas/Råolie inkl. flaring	0,032	0,001	0,033
Naturgas/Råolie ekskl. flaring	0,026	0,001	0,027

Værdier eksklusiv flaring anvendes ved energiberegninger. Værdier inklusiv flaring anvendes ved emissionsberegninger, hvilke dog ikke foretages i herværende studie, idet produktionen af Nordsøolie antages at fortsætte på uændret niveau uafhængigt af, om den danske efterspørgsel falder som følge af øget biobrændstofproduktion.

Olie- og naturgasekstraktion

Ifølge Energistyrelsen (2008a) produceredes der i 2007 følgende:

Råolie	18083	tusinde m ³	eller	668709	Mio. MJ
Naturgas	10046	Mio. Nm ³	eller	397721	Mio. MJ
I alt				1066430	Mio. MJ

I forbindelse med produktionen er der anvendt følgende mængder naturgas til ekstraktion og transport til land (tryksætning) med og uden flaring:

Ekstraktion inkl. flaring & tryksætning	857	Mio. Nm ³	eller	33929	Mio. MJ
Ekstraktion ekskl. flaring inkl. tryksætning	702	Mio. Nm ³	eller	27792	Mio. MJ

I beregninger af opstrømsproduktionsenergi er det værdien eksklusiv flaring der anvendes, idet flaringenergien ikke er produktiv.

Det er ikke muligt at opdele energiforbruget på hhv. råolien og naturgassen, ud over at anvende energifordeling på 63 % produceret olie og 37 % produceret naturgas som et fordelingsestimat.

Emissionsrelateret energiforbrug per produceret mængde energi bliver således 0,032 MJ per MJ (33929 mio. MJ per 1066430 mio. MJ) inklusiv flaring.

Energiforbruget eksklusiv flaring bliver 0,026 MJ per MJ (27792 MJ per 1066430 MJ).

Olie- og naturgastransport på land

Transporten af naturgas og råolie fra ankomst i land (Esbjerg) til forbrugssted bidrager minimalt per energienhed. Herunder er beregnet for naturgas.

Ifølge Energinet.dk (pers. komm. Chr. Guldager Simonsen), kan der estimeres et energiforbrug på 0,06 % af den transporterede mængde energi i Energinet.dks system, der er det overordnede nationale transmissionssystem i Danmark. Energien går til opvarmning af naturgassen, i takt med at trykket, som gassen er forsynet med ude fra Nordsøfelterne, sænkes.

I det regionale distributionssystem anslås i dette projekt et yderligere energiforbrug på 0,04 %, således at forbruget for det samlede energiforbrug ved transmission og distribution på land bliver 0,1 %, svarende til 0,001 MJ per MJ naturgas.

Det antages som et groft estimat, at råolien har et tilsvarende energiforbrug ved transport på land fra indløbssted til raffinaderi.

Fossil diesel og benzin opstrømsenergi

Ifølge Energistyrelsens statistik for 2007 (Energistyrelsen, 2008b) forbruges der i raffinaderisektoren 14918 TJ energi ved raffineringen af 328617 TJ brændstof hvilket giver en raffinaderiproduktionsenergi på 4,3 %, som opskrives til 4,5 %, og derved inkluderer yderligere anslåede energiforbrug til lager og distribution.

Sammenholdt med råoliens anslåede opstrømsenergiforbrug udledt i de foregående afsnit, fås de samlede opstrømsenergifaktorer for diesel og benzin som følger:

Diesel eller benzin opstrømsenergiforbrug	Procent
Råolie ekstraktion	2,6
Råolie landtransport	0,1
Raffinering til diesel	4,5
Opstrømsenergi	7,2

Til sammenligning angiver JEC (2007a) hhv. 16 % og 14 % for diesel og benzin. Årsagen til de lavere danske værdier skal ses på baggrund af Nordsøoliens specifikke produktionsforhold.

Elektricitets opstrømsenergi

Elektricitets opstrømsenergi er en vigtig faktor at medtage, da den overstiger elektricitetens egenenergi og ligger på 1,88 MJ per MJ elektricitet. Der er god begrundelse for også at medregne opstrømsenergiens egen opstrømsenergi, f.eks. kuls opstrømsenergi, da bidraget godt kan ligge på 5-10 % afhængig af energisammensætningen. Dette er der dog afstået fra i dette projekt.

Tabellen nedenfor, baseret på data fra Energinet.dk (2008), angiver i første kolonne det gennemsnitlige brændselsforbrug over 2005-08 delt op på brændselstyper. Vedvarende energi indgår i denne beregning, hvor "brændselsforbruget" sættes lig med produktionsmængden.

Endvidere angives i bunden den gennemsnitlige leverede elektricitetsmængde over fireårsperioden, ved forbruger. Dvs. energien er omformet til Low Voltage (LV).

I den næste kolonne angives opstrømsfaktorerne for energiforbrug per samlet leveret (LV) elektricitetsenhed, dvs. TJ per TJ. Delfaktorerne summeres op til den samlede faktor på 2,30. Faktorerne er beregnet for hvert af de fire år og derefter midlet.

	Brændselsforbrug	Produceret el (LV)	Opstrømsfaktor
	TJ	TJ	MJ per MJ
Kul	161259		1,25
Olie	11630		0,09
Naturgas	59950		0,47
Biobrændsler, halm	7355		0,06
Biobrændsler, træ	9068		0,07
Affald, ikke bionedbrydeligt	8469		0,07
Affald, bionedbrydeligt	12087		0,09
Vindkraft	24139		0,19
Vand og sol	98		0,001
Biogas	2237		0,018
Energiforbrug i alt	296292		2,30
Produceret LV energi		128511	

Kuls opstrømsenergi

Kuls opstrømsenergi er citeret fra JEC (2007b).

Beregning af fossile brændstoffers opstrømmissioner

Naturgas emissionsfaktorer, direkte og opstrøms

Den direkte emissionsfaktor for naturgas stammer fra DMU (2009) vedrørende industriel forbrænding af naturgas.

Hertil kan lægges en opstrømmissionsfaktor som er beregnet på baggrund af den beregnede opstrømsenergifaktor på 0,033 MJ per MJ naturgas, jf. forrige afsnit. Dette er dog unklad i herværende studie, da emissionerne fra ekstraktionsstederne antages at fortsætte uanfægtet scenariernes realisering.

Fossil diesel emissionsfaktorer, direkte og opstrøms

Den direkte emissionsfaktor for diesel ved anvendelse til transportformål i produktionsprocessen stammer fra DMU (2009) vedrørende tung lastbilkørsel i landlige områder. Hertil lægges emissionsfaktoren for energiforbruget opstrøm.

Emissionerne fra ekstraktionsstedets råolieproduktion, inklusiv landtransport, er baseret på den samlede produktionsenergi til pumpning, flaring og tryksætning og DMUs emissionfaktorer (DMU, 2009) for naturgasafbrænding i gasturbiner i olie- og gasindustrien. Disse emissioner undlades i herværende studie, da det antages at emissionerne ikke vil sænkes ved realiseringen af biobrændstofscenarierne, idet den givne olieproduktion vil fortsætte uantastet ændret efterspørgsel i Danmark.

Derimod indregnes emissionerne fra selve dieselfrafineringen, der er beregnet ud fra oplysninger i Dansk Shells "Grønne regnskab" for 2008 (Dansk Shell, 2009). Det oplyses, at der raffineres 2 822 000 ton råolie, hvoraf 39 % går til diesel. Emissionerne er opgivet i totale mængder i rapporten. Heraf antages diesels andel at være 39 % svarende til produktionsandelen. Ved hjælp af faktorer for energiindhold på 42,7 MJ per kg diesel, kan den samlede mængde produceret dieselenergi beregnes,

og emissionerne per energienhed kan beregnes, ved at dividere emissionerne med energiforbruget.

Der er ikke opgivet emissioner for NMVOC, CO og N₂O i Dansk Shells grønne regnskab. Disse er i stedet estimeret ved at sammenligne med DMUs emissionsfaktorer (DMU, 2009) for forbrænding af dieselolie og anvende disse som fordelingsfaktorer, med CO₂ som indekseværdien. Med andre ord, så danner CO₂ broen imellem de to sæt emissionsfaktorer og der sørges således for at forholdet imellem f.eks. NMVOC og CO₂ er det samme i fordelingstalsættet og i de estimerede emissionsfaktorer.

	Total raffinaderi (ton)	Diesel-andel (ton) – 39 %	Diesel-andel (MJ)		
Raffinerede mængder	2822000	1100580	46994766000		
	Emissioner (ton)	Emissioner (ton)	Emissioner (g pr. MJ)		
SO ₂	1167	455	0,010		
NO _x	843	329	0,007		
CO ₂	419000	163410	3,477		
PM	151	59	0,001		
CH ₄ *	984	384	0,008		
				fordelingsfaktorer	
NMVOC			0,005	NMVOC	0,1
CO			0,005	CO	0,1
N ₂ O			0,000	N ₂ O	0,002
CO ₂ (indekseværdi)				CO ₂	74

* egentlig "kulbrinter"

Benzin emissionsfaktorer, direkte og opstrøms

Beregningerne for benzins opstrømsemmissionsfaktorer er analoge til forrige afsnits beregninger af diesels opstrømsemmissionsfaktorer.

Også her udelades emissioner fra Nordsøolieekstraktionen, hvis emissionsniveauer antages uafhængige af realiseringen af biobrændstofscenarierne.

Emissionsfaktorerne for raffinering af benzin er identiske med de ovenfor beregnede for diesel, hvilket skyldes at Shell i deres "grønne regnskab" ikke har specificeret deres samlede emissioner ud på de enkelte produkter, hvorfor både faktorerne for diesel og benzin udtrykker et gennemsnitsestimat.

Elektricitets opstrømsemmissioner

Tabellen herunder angiver DMUs emissionsfaktorer for kraft og varmeværker (DMU, 2009).

Fuel		SO ₂ [g pr. MJ]	NO _x [g pr. MJ]	NM VOC [g pr. MJ]	CH ₄ [g pr. MJ]	CO [g pr. MJ]	CO ₂ [g pr. MJ]	N ₂ O [g pr. MJ]	TSP [g pr. MJ]
GAS OIL	Public power	0,023	0,249	0,0015	0,0015	0,015	74	0,002	0,005
NATURAL GAS	Public power	0,0003	0,097	0,002	0,006	0,015	56,78	0,001	0,0001
COAL	Combustion plants >= 300 MW (boilers)	0,04	0,098	0,0015	0,0015	0,01	95	0,0008	0,003
RESIDUAL OIL	Combustion plants >= 300 MW (boilers)	0,206	0,098	0,003	0,003	0,015	78	0,002	0,003
MUNICIP. WASTES	Combustion plants >= 50 and < 300 MW (boilers)	0,0239	0,124	0,00098	0,00059	0,0074	112,1	0,0012	0,00202
WOOD AND SIMIL.	Combustion plants >= 50 and < 300 MW (boilers)	0,00174	0,069	0,0033	0,002	0,079	102	0,0008	0,0079
STRAW	Combustion plants >= 50 and < 300 MW (boilers)	0,0471	0,131	0,0008	0,0005	0,063	102	0,0014	0,00397

Ud fra den beregnede energikomposition ved dansk produceret elektricitet, i afsnit 18.1.3, er der beregnet elektricitetens emissionsfaktorer opstrøm.

	Direkte og opstrømsenergi MJ per MJ el	SO ₂ g pr. MJ	NO _x g pr. MJ	NM VOC g pr. MJ	CH ₄ g pr. MJ	CO g pr. MJ	CO ₂ g pr. MJ	N ₂ O g pr. MJ	TSP g pr. MJ
Kul	1,43	0,057251	0,140265	0,002147	0,002147	0,014313	135,9714	0,001145	0,004294
Olie	0,12	0,024984	0,011886	0,000364	0,000364	0,001819	9,460088	0,000243	0,000364
Naturgas	0,68	0,000203	0,065502	0,001351	0,004052	0,010129	38,34217	0,000675	6,75E-05
Biobrændsler	0,20*	0,002976	0,017553	0,000523	0,000318	0,015066	20,64764	0,000197	0,001372
Affald	0,26	0,006292	0,032646	0,000258	0,000155	0,001948	29,51261	0,000316	0,000532
vindmøller, land	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0
Vindmøller, hav	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0
Vand og sol	0,000751	0	0	0	0	0	0	0	0
I alt	2,88**	0,091706	0,267852	0,004643	0,007036	0,043276	233,9339	0,002575	0,006629

* 29 % halm og 71 % træ

** heraf 1,88 MJ opstrømsenergi og 1 MJ egenenergi

Kul

Kuls egenemissioner er beregnet ud fra DMUs standardfaktorer. Der er ikke beregnet opstrømsmissioner, idet disse opstår uden for systemafgrænsningen af Danmarks grænser.

DMU Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser er en del af Aarhus Universitet. På DMU's hjemmeside www.dmu.dk finder du beskrivelser af DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter.

DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø. Her kan du også finde en database over alle publikationer som DMU's medarbejdere har publiceret, dvs. videnskabelige artikler, rapporter, konferencebidrag og populærfaglige artikler.

Yderligere information: www.dmu.dk

Danmarks Miljøundersøgelser
Frederiksborgvej 399
Postboks 358
4000 Roskilde
Tlf.: 4630 1200
Fax: 4630 1114

Administration
Afdeling for Arktisk Miljø
Afdeling for Atmosfærisk Miljø
Afdeling for Marin Økologi
Afdeling for Miljøkemi og Mikrobiologi
Afdeling for Systemanalyse

Danmarks Miljøundersøgelser
Vejløvej 25
Postboks 314
8600 Silkeborg
Tlf.: 8920 1400
Fax: 8920 1414

Afdeling for Ferskvandsøkologi
Afdeling for Terrestrisk Økologi

Danmarks Miljøundersøgelser
Grenåvej 14, Kalø
8410 Rønde
Tlf.: 8920 1700
Fax: 8920 1514

Afdeling for Vildtbiologi og Biodiversitet

Faglige rapporter fra DMU

På DMU's hjemmeside, www.dmu.dk/Udgivelser/, finder du alle faglige rapporter fra DMU sammen med andre DMU-publikationer. Alle nyere rapporter kan gratis downloades i elektronisk format (pdf).

Nr./No.	2010
789	Forekomst og regulering af fritlevende mink i Danmark i jagtsæsonen 2007/08. Af Asferg, T. 28 s.
788	Forekomst af antikoagulante rodenticider i danske rovfugle, ugler og små rovpattedyr. En basisundersøgelse. Af Christensen, T.K., Elmeros, M. & Lassen, P. 84 s.
787	Effekter af øgede kvælstoftilførsler på miljøet i danske fjorde. Af Markager, S., Carstensen, J., Krause-Jensen, D., Windolf, J. & Timmermann, K. 54 s.
786	Emissions from decentralised CHP plants 2007 – Energinet.dk Environmental project no. 07/1882. Project report 5 – Emission factors and emission inventory for decentralised CHP production. By Nielsen, M., Nielsen, O.-K. & Thomsen, M. 113 pp.
785	Guidelines to environmental impact assessment of seismic activities in Greenland waters. 2nd edition. By Boertmann, D., Tougaard, J., Johansen, K. & Mosbech, A. 42 pp.
784	Denmark's National Inventory Report 2010. Emission Inventories 1990-2008 – Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. By Nielsen, O.-K., Lyck, E., Mikkelsen, M.H., Hoffmann, L., Gyldenkærne, S., Winther, M., Nielsen, M., Fauser, P., Thomsen, M., Plejdrup, M.S., Albrektsen, R., Hjelgaard, K., Johannsen, V.K., Vesterdal, L., Rasmussen, E., Arfaoui, K. & Baunbæk, L. 1178 pp.
783	Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner. Af Andersen, M.S. 33 s.
782	Screening for kloralkaner i sediment. Relevans for NOVANA. Af Larsen, M.M., Hjorth, M. & Sortkjær, O. 22 s.
781	Emissionskortlægning for decentral kraftvarme 2007 – Energinet.dk miljøprojekt nr. 07/1882. Delrapport 5 Emissionsfaktorer og emissionsopgørelse for decentral kraftvarme, 2006. Af Nielsen, M., Nielsen, O.-K. & Thomsen, M. 105 s.
780	Heavy Metal Emissions for Danish Road Transport. By Winther, M. & Slentø, E. 99 pp.
779	Brændefyrings bidrag til luftforurening. Nogle resultater fra projektet WOODUSE. Af Olesen, H.R., Wählin, P. & Illerup, J.B. 71 s.
778	Ynglefugle i Tøndermarsken og Margrethe Kog 1975-2009. En analyse af udviklingen i fuglenes antal og fordeling med anbefalinger til forvaltningstiltag. Af Clausen, P. & Kahlert, J. (red.) 206 s.
777	Air pollution from residential wood combustion in a Danish village. Measuring campaign and analysis of results. By Wählin, P., Olesen, H.R., Bossi, R. & Stubkjær, J. 49 pp.
776	Annual Danish Informative Inventory Report to UNECE. Emission inventories from the base year of the protocols to year 2008. By Nielsen, O.-K., Winther, M., Mikkelsen, M.H., Hoffmann, L., Nielsen, M., Gyldenkærne, S., Fauser, P., Plejdrup, M.S., Albrektsen, R. & Hjelgaard, K. 565 pp.
775	Environmental monitoring at the former lead-zinc mine in Maarmorilik, Northwest Greenland, in 2009. By Johansen, P., Asmund, G., Rigét, F., Johansen, K. & Schledermand, H. 32 pp.
774	Kvælstofbelastningen ved udvalgte terrestriske habitatområder i Sønderborg kommune. Af Frohn, L. M., Skjøth, C. A., Becker, T., Geels, C. & Hertel, O. 30 s.
773	Geese, seabirds and mammals in North and Northeast Greenland. Aerial surveys in summer 2009. By Boertmann, D. & Nielsen, R.D. 66 pp.
772	Environmental monitoring at the Nalunaq Gold Mine, South Greenland, 2009. By Glahder, C.M., Asmund, G. & Rigét, F. 32 pp.
771	OMLHighway within the framework of SELMAGIS. Final Report. By Jensen, S.S., Becker, T., Ketznel, M., Løfstrøm, P., Olesen, H.R. & Lorentz, H. 26 pp.
770	Road pricing, luftforurening og eksternalitetsomkostninger. Af Jensen, S.S., Ketznel, M. & Andersen, M.S. 48 s.

[Tom side]

SAMFUNDSØKONOMISK WELL-TO-WHEEL-ANALYSE AF BIOBRÆNDSTOFFER

Scenarieberegninger for rapsdiesel (RME)
og 1.- og 2.-generations bioethanol

Rapporten analyserer, i en integreret form, de energimæssige, emissionsmæssige og velfærds-økonomiske konsekvenser ved at introducere dansk produceret biobrændstof af typerne raps-diesel (RME) og første og anden generations hvedeethanol i to scenariesituationer med henholdsvis lav og høj iblandingsprocent.

ISBN: 978-87-7073-194-2
ISSN: 1600-0048