

# 06

## CO<sub>2</sub> reduktionsomkostninger ved biodiesel

Dansk produceret biodiesel på raps





# 06

## CO<sub>2</sub> reduktionsomkostninger ved biodiesel

Dansk produceret biodiesel på raps



Journal nr. 2002-1514-001

ISBN: 87-7992-046-2

Forfattere: Kirsten Carlsen, Marcus Kjellingbro,  
Martin Frank Mogensen, Morten Kohl

Udgivet: December 2006.

Oplag: 300 eksemplarer.

Forsidefoto: Getty Images

© 2006, Institut for Miljøvurdering

Gammel Kongevej 5, 1.sal

1610 København V

Telefon 7226 5800

Telefax 7226 5839

imv@imv.dk

www.imv.dk

## INDHOLDSFORTEGNELSE

<b>Resume</b>	<b>3</b>
<b>Executive summary</b>	<b>5</b>
<b>1 Introduktion</b>	<b>7</b>
1.1 Baggrund	7
1.2 Formål med rapporten	8
1.3 Afgrænsning	9
<b>2 RME – fremstilling, anvendelse, fordele og ulemper</b>	<b>11</b>
2.1 Hvad er biodiesel?	11
2.2 Anvendelse	11
2.3 Produktion i Danmark	12
2.4 Fremstilling af RME	12
2.5 Fordele og ulemper ved produktion og anvendelse af biodiesel	13
2.5.1 Motorvirkning	14
2.5.2 CO <sub>2</sub> -udledning	14
2.5.3 Øvrige emissionseffekter	15
2.5.4 Nedbrydelighed	15
2.5.5 Rapsdyrkning	15
<b>3 Biodiesel i EU – Danmark og de øvrige medlemslande</b>	<b>17</b>
3.1 Danmark – en omkostningseffektiv klimastrategi	17
3.2 EU's Biobrændstofdirektiv	18
3.3 Handlingsplan for biobrændstoffer (2006)	19
<b>4 Metode</b>	<b>20</b>
4.1 CO <sub>2</sub> -reduktionsomkostninger, en samfundsøkonomisk tilgang	20
4.2 Beregning af CO <sub>2</sub> -reduktionsomkostninger	21
4.3 Beregningsmodel	22
4.3.1 EMBIO modellen – en livscyklus-analyse	22
4.4 Forudsætninger og parameterværdier	24

4.5	Beregningspriser for fossil diesel og olie	26
4.6	Beregningspris for raps	28
4.7	Produktionsomkostninger for RME	31
<b>5</b>	<b>Omkostningerne ved CO<sub>2</sub>-reduktion</b>	<b>34</b>
5.1	CO <sub>2</sub> -reduktionsomkostningerne for RME	34
5.2	Faktorernes indvirkning på resultatet	34
5.3	Tilsvarende undersøgelser	35
<b>6</b>	<b>Følsomhedsberegninger og sandsynligheder</b>	<b>37</b>
6.1	Følsomhedsanalyse	37
6.1.1	Antagelser omkring energiafgrødetilskud mv.	37
6.1.2	Centrale parameterværdier	38
6.1.3	Beregningsparametrenes variation	39
6.2	Monte Carlo simulering	40
6.2.1	Valg af parametre	41
6.2.2	Korrelation	42
6.2.3	Resultater	42
<b>7</b>	<b>Diskussion</b>	<b>46</b>
7.1	Omkostningseffektiv CO <sub>2</sub> -reduktion	46
7.2	Forsyningssikkerhed	47
7.3	Økonomisk vækst	47
7.4	Alternative beregningsmetoder	48
7.5	Hvordan ser fremtiden ud?	50
<b>8</b>	<b>Konklusion</b>	<b>51</b>
8.1	CO <sub>2</sub> -reduktionsomkostningerne for RME	51
8.2	Usikkerheder ved beregning af CO <sub>2</sub> -reduktionsomkostninger	52
8.3	Perspektiver i anvendelsen af RME i Danmark	52
	<b>Litteraturliste</b>	<b>54</b>
	Bilag	56

## Resume

Rapsbaseret biodiesel (RME, Raps Methyl Ester) - ofte betegnet '1.generations-biodiesel' - er en fornybar brændstoftype med CO<sub>2</sub>-reduktionspotentiale. Det kan anvendes i opblanding med fossil diesel i eksisterende dieselmotorer. EU kommissionens målsætninger for andelen af biobrændstof i transportsektoren var 2 % i 2005 og er 5,75 % i 2010. I Danmark anses biobrændstoffer til transport ikke for at være et omkostningseffektivt middel til CO<sub>2</sub>-reduktion.

Denne konklusion omkring biobrændstoffers ringe omkostningseffektivitet var bl.a. baseret på Energistyrelsens beregninger fra 2003 (Energistyrelsen 2003) af CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne for dansk produceret RME. CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne for RME blev i 2003 beregnet til 360 kr./ton CO<sub>2</sub>. Men siden disse beregninger blev foretaget har en række forudsætninger for beregningen af CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne ændret sig.

Det overordnede formål med denne rapport er at opdatere Energistyrelsens analyse fra 2003 med nye beregningsforudsætninger. Rapporten bidrager endvidere med en udvidet følsomhedsanalyse af beregningsresultaterne.

Rapporten konkluderer, at:

- CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen for dansk produceret RME er estimeret til 860 kr./ton CO<sub>2</sub>, hvilket er væsentligt højere end Energistyrelsens beregnede omkostning fra 2003.
- Forskellen i resultatet i forhold til Energistyrelsens oprindelige beregninger beror især på at prisen på rapsfrø er højere, da den i vores beregninger er baseret på markedsprisen på raps.
- Usikkerheden ved estimatet er stor, men med de anvendte forudsætninger er sandsynligheden for at reduktionsomkostningen er lavere end regeringens pejlemærke på 180 kr./ton CO<sub>2</sub> kun 15 %.

Dermed bekræfter rapporten, at dansk produceret RME stadig er en dyr måde at reducere CO<sub>2</sub>-udledningen på – og ikke omkostningseffektivt sammenlignet med f.eks. køb af CO<sub>2</sub>-kvoter. En af de væsentligste årsager til dette er, at råmaterialet (raps) til denne type af 1.generations-biodiesel alternativt kunne være anvendt til noget andet. Alene derfor kunne det være interessant fremover at se nærmere på 2.generations-teknologier til produktion af biodiesel, der ikke er afhængig af raps, men derimod af biomasse, der ikke har væsentlig alternativ anvendelse. Nærværende rapport fokuserer imidlertid udelukkende på 1.generations brændstoffet RME.

Før det besluttet, hvorvidt der skal satses på RME som biobrændstof til transport i Danmark, vil det imidlertid være hensigtsmæssigt ikke blot at vurdere omkostningseffektiviteten i forhold til CO<sub>2</sub>-besparelser, men også i forhold til bl.a. forsyningssikkerhed/prissikkerhed og i forhold til biobrændstoffers potentiale for at bidrage til generel økonomisk vækst. Denne type overvejelser gælder for såvel 1. generations- som 2. generations-biodiesel.



## Executive summary

Bio-diesel based on rape seed (RME, Rape Methyl Esther) – often referred to as first generation bio-diesel – is a renewable fuel with CO<sub>2</sub> reduction potential. Mixed with conventional diesel it can be used directly in existing diesel engines. The EU target for the use of bio-fuels in the transport sector was 2 % by 2005 and is 5.75 % by 2010. In Denmark, the use of bio-fuels in the transport sector is not viewed as a cost-effective CO<sub>2</sub> reduction measure.

This conclusion concerning the cost-effectiveness of bio-fuels was partly based on calculations of the CO<sub>2</sub> reduction cost for Danish-produced RME made by the Danish Energy Authority in 2003. At that time the cost was estimated at 360 DKK/tonne CO<sub>2</sub>. Since then some of the assumptions behind the calculations have changed.

The overall objective of this report is to update the Danish Energy Authority's study from 2003, taking into account revised assumptions. The report also attempts to examine the uncertainties associated with the calculations by including extended sensitivity analyses.

The report draws the following conclusions:

- The CO<sub>2</sub> reduction cost for Danish produced RME is estimated at 860 DKK/tonne CO<sub>2</sub>, which is significantly higher than the result obtained by the Danish Energy Authority in 2003.
- The difference from the Danish Energy Authority's original calculations is principally due to a higher rape seed price based on the market price on rape seed.
- The uncertainty in both estimates is substantial, and there is about 15 % probability of the reduction costs being lower than the target of 180 DKK/tonne CO<sub>2</sub> set by the government.

Using Danish-produced RME is therefore confirmed to be an expensive way to reduce CO<sub>2</sub> – and not cost-effective compared e.g. to buying CO<sub>2</sub> quotas. One of the main reasons for this is that the main input (rape seed) for this type of first generation bio-diesel could have been put to an alternative use. It would therefore be interesting to take a closer look at second generation bio-diesel production technologies that are dependent, not on rape seed, but on biomass with no significant, alternative use. The report, however, focuses on the first generation biofuel RME.

Before deciding whether – and to what degree – to use RME as bio-fuel in the Danish transport sector it is relevant to look at important factors other than only the CO<sub>2</sub>

reduction cost. Circumstances such as security of fuel supply and potentials for economic growth could also be taken into account. Such considerations are relevant for both first and second generation bio-diesel.

# 1 Introduktion

## 1.1 Baggrund

Biodiesel baseret på rapsolie (RME<sup>1</sup>) er et 1. generations biobrændstof<sup>2</sup>, og er, sammen med bioethanol, en af de mest udbredte former for biobrændstoffer i transportsektoren i EU (International Energy Agency 2004). RME benyttes som alternativ til fossil diesel i en række EU lande, heriblandt Tyskland, Sverige, Frankrig, Storbritannien og Spanien, enten i ren form som B100 eller i blanding med diesel, f.eks. som B5 med 5 % biodiesel og 95 % fossil diesel (Commission of the European Communities 2004).

Erstatning af fossil diesel med RME<sup>3</sup> i transportsektoren kan bidrage til en reduktion af CO<sub>2</sub>-udslip til atmosfæren. De omkostninger, der er forbundet med at spare CO<sub>2</sub> ved f.eks. at erstatte den ene energiform med en anden, kaldes CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger. I denne rapport bruges betegnelsen til at beskrive, hvad det koster i samfundsøkonomiske priser at spare CO<sub>2</sub> ved anvendelsen af RME i stedet for almindeligt fossil diesel (Energistyrelsen 2005).

EU's biobrændstofdirektiv (2003) opfordrer medlemslandene til at fastsætte nationale mål for andelen af biobrændstoffer ud af den samlede mængde brændstof i transportsektoren. I den forbindelse opstiller direktivet et vejledende mål på 2 % ved udgangen af 2005, som øges til 5,75% i 2010 (Europa-Parlamentet 2003). De danske mål blev i 2005 fastsat til en anvendelse af biobrændstoffer på 0,1 % ved udgangen af 2006 (Økonomi- og Erhvervsministeriet et al. 2004).

Det danske argument for denne lave andel er bl.a., at biobrændstoffer til transport – herunder RME – er en dyr måde at spare CO<sub>2</sub> på i forhold til, hvad det alternativt koster at købe CO<sub>2</sub>-kvoter i udlandet (Økonomi- og Erhvervsministeriet et al. 2004). Energistyrelsen beregnede i 2003 en pris for CO<sub>2</sub>-besparelse vha. RME til omkring 360 kr./ton CO<sub>2</sub>, mens den forventede kvotepris i 2003 lå omkring 120 kr./ton CO<sub>2</sub>

---

<sup>1</sup> Raps Methyl Ester

<sup>2</sup> 1. generations biobrændstoffer er baseret på afgrøder, der også kan anvendes til fødevarerproduktion, mens 2. generations biobrændstofferne fortrinsvist er baseret på restprodukter fra land- og skovbrug.

<sup>3</sup> RME betegnes som et CO<sub>2</sub>-neutralt brændstof, da den er lavet på afgrøder, der har optaget samme mængde CO<sub>2</sub> under sin opvækst som frigives ved deres afbrænding. Dog er RME ikke en fuldstændig CO<sub>2</sub>-neutral type brændstof, da der i produktionen af RME udledes CO<sub>2</sub> fra fossilt brændsel.

(Energistyrelsen 2003). I Økonomi- og Erhvervsministeriet et al. (2004) argumenteres endvidere for, at vi i Danmark er gode til at bruge biomasse som brændstof til andre energiformål, f.eks. i kraftvarmeværker. I 2003 udgjorde biobrændsel 11 % af den samlede energiproduktion i denne sektor.

Siden 2004 er anvendelsen af både 1. og 2. generations transportbrændstoffer blevet diskuteret både i medier og i Folketinget. I november 2005 afsatte den danske regering 60 mio. kroner fra 2006-2008 til introduktion af biodiesel i offentlige transportmidler, mens der i maj 2006 blev afsat 200 mio. kroner over 4 år til forskning og udvikling af 2. generations biobrændstoffer primært med teknologi-eksport for øje (Transport- og Energiministeriet 2006). Ligeledes i maj 2006 lancerede Statoil i Danmark sin Bio95 benzin, en 95 oktan blyfri benzin med 5 % opblanding af 1. generations bioethanol, fortrinsvist importeret fra Brasilien.

I hvilket omfang man fra regeringens side ønsker at satse på en mere generel dansk anvendelse af biobrændstoffer i transportsektoren er stadig uklart, men i redegørelsen om implementering af EU's biobrændstofdirektiv fra 2004 anføres det *"...at fremme af biobrændstoffer aktuelt ikke er et omkostningseffektivt middel i klimapolitikken. Billedet kan dog ændre sig hvis forsknings- og udviklingsindsatsen resulterer i afgørende gennembrud eller hvis f.eks. oliepriserne stiger markant. Også stigende priser på EU's kommende CO<sub>2</sub>-kvotemarked kan bidrage til at ændre situationen"* (Økonomi- og Erhvervsministeriet et al. 2004).

## 1.2 Formål med rapporten

Siden Energistyrelsens beregninger af CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne for RME fra 2003 (Energistyrelsen 2003) har en række forhold med indflydelse på CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen ændret sig. Nogle af disse er nævnt nedenfor:

- Råolieprisen, og fremskrivninger heraf, er steget markant.
- Raps til energiformål bliver i stigende grad dyrket på almindelige landbrugsarealer og i mindre grad på braklagte arealer. Der er på den måde nu belæg for at anvende den fakturerede markedspris for raps som grundlag for den samfundsøkonomiske beregningspris på raps.

- Udvinning af olie fra rapsfrøene er blevet mere effektiv<sup>4</sup>. Det har betydning for produktionsomkostningerne pr. liter RME, som derfor er faldet siden 2003<sup>5</sup>.
- Den samfundsøkonomiske pris på biprodukter som rapskage og glycerin har ændret sig.

Fokus for denne rapport er derfor at belyse, hvilken betydning de ændrede forudsætninger kan have for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne for RME. Dette bliver gjort ved at anvende en beregningsmodel, som er baseret på Energistyrelsens model fra 2003 justeret for de ændrede beregningsforudsætninger. Desuden udføres en Monte Carlo analyse - dvs. en analyse af hvor stor effekt usikkerheden i de enkelte beregningsparametre har på de overordnede CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger.

Formålet med denne rapport er derfor, at:

- Opdatere Energistyrelsens beregninger fra 2003 for omkostningen af CO<sub>2</sub>-reduktion ved anvendelsen af dansk produceret biodiesel baseret på rapsfrø
- Belyse usikkerhederne forbundet med fastsættelsen af CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne for RME

### 1.3 Afgrænsning

Energistyrelsens beregningsmodel for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne ved RME-produktion i Danmark er baseret på Energistyrelsens EMBIO<sup>6</sup> model fra 1997 (Energistyrelsen 1997), som er en livscyklusanalyse<sup>7</sup> af processerne forbundet med produktion af hhv. RME og fossil diesel. Denne livscyklusanalyse inkluderer 1. og 2. ordensvirkningerne af brændstoffremstillingen. Det betyder, at analysen inkluderer områder som CO<sub>2</sub>-udledningen, energiforbruget og omkostningerne forbundet med anvendelsen af brændstoffet (1. orden), dyrkning og transport af raps samt raffinering af fossil diesel (2. orden). Derimod betragtes f.eks. CO<sub>2</sub>-udledningerne forbun-

---

<sup>4</sup> Af rapsfrøets vægt kan 40,5 % rapsolie udvindes mod 36,7 % i Energistyrelsens beregninger.

<sup>5</sup> Kilde: Personlig korrespondance, Emmelev Mølle (2006)

<sup>6</sup> EMBIO: Energistyrelsens Model til økonomisk og miljømæssig vurdering af BIObrændstoffer.

<sup>7</sup> En livscyklus analyse er beregninger af miljøbelastningen af en vare eller tjenesteydelse "fra vugge til grav".

det med produktion af maskiner og raffinaderianlæg (3. ordensvirkninger) som marginale i forhold til analysens formål, hvorfor de ikke er inddraget.

Der tages i beregningerne udgangspunkt i en RME produktion i Danmark, hvorfor rapportens resultater for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne ikke kan overføres direkte til CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne for importeret RME eller biodiesel produceret med andre produktionsmetoder.

Tallene for omkostningerne ved produktionsinput, investeringer samt løbende omkostninger til energi, stammer fra Emmelev Mølle, som i dag er den eneste producent af RME i Danmark. Det er oplyst, at Emmelev Mølle ved sin angivelse af priser har annuiseret<sup>8</sup> disse omkostninger med en 6 % rente over en tidshorisont på 20 år. Tallene er givet i kr./kg biodiesel, og det har på det foreliggende datagrundlag ikke været muligt at foretage følsomhedsanalyser med en anden diskonteringsrate end de 6 %. Det kan naturligvis diskuteres, hvorvidt Emmelev Mølles produktionsomkostninger er repræsentative for en generel dansk produktion af RME.

Ligesom for Energistyrelsens beregninger er der i denne rapport tale om en omkostningseffektivitets-analyse, hvor der fokuseres på omkostningerne ved CO<sub>2</sub>-reduktion. Andre (eksterne) effekter er derfor ikke værdisat og inddraget i analysen, selvom dette ville have været en mulighed som led i en mere uddybende opdatering. Denne rapport fokuserer imidlertid kun på en opdatering af tallene fra Energistyrelsens beregninger.

---

<sup>8</sup> At "annuisere" en omkostning betyder en omregning til gennemsnitlige årlige omkostninger.

## 2 RME – fremstilling, anvendelse, fordele og ulemper

### 2.1 Hvad er biodiesel?

Biodiesel, generelt kaldet Fatty Methyl Esters (FAME), er en gruppe af flydende brændstoffer, der kan bruges i dieselmotorer i transportsektoren. Biodiesel produceres i dag på basis af vegetabiliske olier som f.eks. rapsolie, solsikkekerneolie, palmeolie og sojaolie samt på basis af animalske fedtstoffer fra slagteriaffald og friturefedt.

### 2.2 Anvendelse

Biodiesel kan anvendes ved opblanding med fossilt diesel indtil 20 % i eksisterende dieselmotorer uden forudgående modifikationer af motoren (Canakci et al. 2006; International Energy Agency 2004). Den biodiesel, der sælges i Europa som brændstof, er underlagt den europæiske standard EN 14214. Standarden opsætter bl.a. mål for vægtfylde, kemisk sammensætning og indhold af oxidationsstabilisatorer. De eksisterende EU regler for opblanding (EN590) tillader maksimalt blandinger med 5 % biodiesel. Det betyder imidlertid ikke, at det er forbudt at anvende en højere iblanding end 5 %, men bilmotorerne vil ikke være dækket af fabriksgarantien, såfremt der opstår en skade (Engine Manufacturers Association 2006).

I 2002 blev der på verdensplan produceret 1,5 mia. liter biodiesel, hvoraf de 1,4 mio. liter blev produceret i Europa. Størstedelen, dvs. 70 % af den europæiske biodieselproduktion er Raps Methyl Ester (RME) baseret på rapsolie, de resterende 30 % baseres hovedsageligt på solsikkekerneolie (International Energy Agency 2004).

Den europæisk producerede biodiesel sælges primært i de EU lande, som har fritaget biodiesel for energi- og CO<sub>2</sub>-afgifter – såsom Tyskland og Sverige. Her har afgiftslempelserne skabt en efterspørgsel efter biodiesel til transportformål. I henhold til prisnoteringer fra det tyske UFOP muliggør dette, at biodiesel kan sælges til en produktpris<sup>9</sup> på omkring en krone over produktprisen for fossilt diesel og stadig konkurrere med diesel på forbrugerprisen.

Der er i Danmark ingen nævneværdig afgiftsfritagelse for biodiesel, kun en fritagelse for CO<sub>2</sub>-afgift (24 øre) på salgsprisen, og der er foreløbig ingen nævneværdig anvendelse af biodiesel til transportformål.

---

<sup>9</sup> Produktprisen er prisen på diesel uden moms og afgifter. Forbrugerprisen er med moms og afgifter og dermed den pris forbrugeren betaler på tankstationen.

I Danmark har man som tidligere nævnt fastsat et vejledende mål for anvendelsen af biobrændstoffer på 0,1 % ved udgangen af 2006, samt afsat 60 mio. kroner over en 3-årig periode *"..til anvendelse af biodiesel i afgrænsede "flåder" af køretøjer i f.eks. kollektiv transport og køretøjer i den offentlige sektor"* (Transport og Energiministeriet 2005). Derudover er der endnu ingen indikationer af hvilke styringsmekanismer, der kunne tænkes at blive sat i værk for at stimulere anvendelsen af biodiesel.

### 2.3 Produktion i Danmark

Emmelev Mølle er pt. den eneste producent af biodiesel (RME) i Danmark og har en produktionskapacitet på 100.000 tons RME/år, med en 2005 produktion på ca. 80.000 tons. Produktionen eksporteres primært til Tyskland<sup>10</sup>. I Danmark findes der desuden nogle mindre producenter af uraffineret rapsolie, hvis produktion primært eksporteres til fremstilling af biodiesel i udlandet.

Den danske biodieselproduktion forventes at stige, da flere aktører har planer om etablering af større produktionsanlæg:

- Sønderjysk Landboforening og Ny Tønder Kommune samarbejder om at udvikle bioenergi-parken Tønder Biofuel med en årlig produktionskapacitet af biodiesel mellem 100.000 og 150.000 tons. Anlægget vil være et integreret bioethanol-, biogas- og biodieselanlæg. Herved skal en del af bioethanolen benyttes i esterificeringen af biodiesel og energiforbruget til fremstilling af både biodiesel og bioethanol skal komme fra biogas<sup>11</sup>.
- Virksomheden DAKA A/S har i 2006/2007 planlagt at opføre en fabrik, der årligt vil kunne producere 50.000 tons biodiesel af animalsk fedt med mulighed for at udbygge til 100.000 tons (Skøtt 2006).

### 2.4 Fremstilling af RME

I Danmark produceres biodiesel indtil videre kun som RME fra rapsfrø. Restprodukterne fra produktionen er rapshalm, som fortrinsvist anvendes til jordforbedring (nedmuldes), rapskager, som anvendes til proteinfoder samt glycerin, som anvendes i fødevarer- og medicinalindustrien (Bugge 2000; Energistyrelsen 2003).

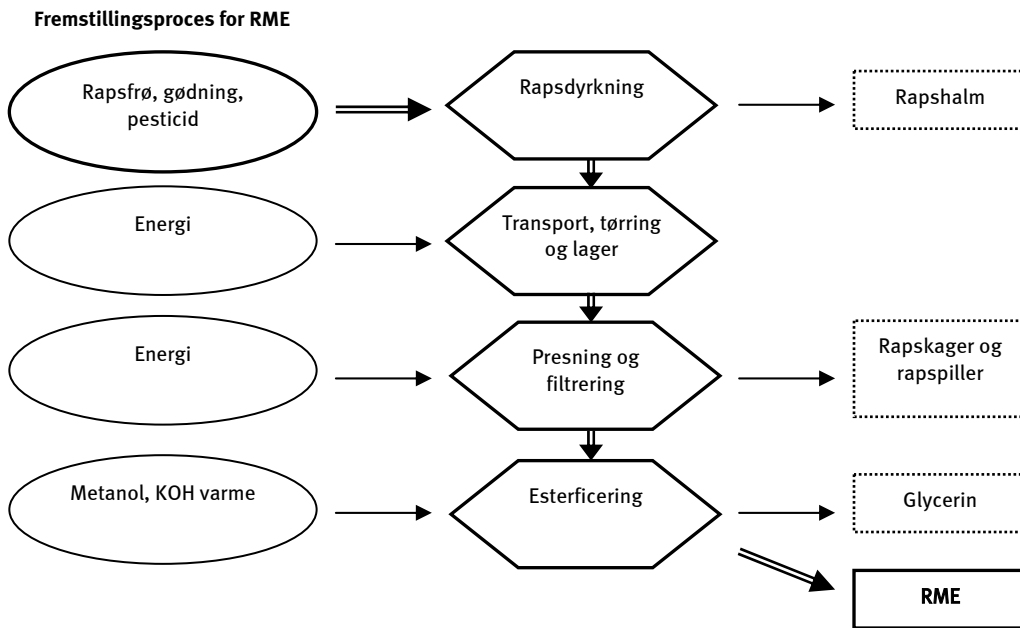
Olieindholdet i den raps, der anvendes til biodieselproduktion i dag, er på omkring 44 %. Til fremstilling af RME udvindes olie svarende til omkring 40,5 % af

<sup>10</sup> Kilde: Personlig korrespondance, Emmelev Mølle (2006)

<sup>11</sup> Kilde: Personlig korrespondance, P.B. Nissen (2006)



frøenes vægt<sup>12</sup> (i det følgende benævnt ”udnyttelsesgrad”). Den udvundne olie filtreres og esterificeres, hvorved glycerin og raps methyl ester (RME) udskilles. Til esterificeringen anvendes enten metanol eller ethanol (CONCAWE et al. 2006; International Energy Agency 2004). Fremstillingsprocessen for rapsbaseret biodiesel er illustreret i figur 2.1.



Figur 2.1. Fremstillingsprocessen for rapsbaseret biodiesel (RME).

## 2.5 Fordele og ulemper ved produktion og anvendelse af biodiesel

Der findes såvel fordele som ulemper ved at producere og anvende RME. Da fokus i denne rapport er på omkostningseffektivitet, er disse eksterne effekter ligesom i Energistyrelsen (2003) ikke værdisat her. Dette ville have været oplagt som led i en mere uddybende opdatering, men som nævnt fokuser denne rapport først og fremmest på en opdatering af tallene fra Energistyrelsens beregninger. I de følgende afsnit diskuteres derfor kun ganske kort nogle enkelte fordele og ulemper ved RME-baseret biodiesel.

<sup>12</sup> Kilde: Personlig korrespondance, Emmelev Mølle (2006)

### 2.5.1 Motorvirkning

De mest åbenlyse fordele ved anvendelse af biodiesel, sammenlignet med anvendelse af fossil diesel, er CO<sub>2</sub>-reduktionspotentialet<sup>13</sup>, og at biodieselfremstillingen er baseret på en fornybar ressource. Biodiesel har et højere cetantal<sup>14</sup>, hvilket giver en forbedret tænding samtidig med, at motorbanken reduceres (Acroumanis 2000). I forhold til fossil diesel har biodiesel bedre smøreegenskaber, hvorfor anvendelse af biodiesel giver mindre slid på motoren.

Energiindholdet i en liter biodiesel svarer til 92 % af energiindholdet i en liter fossil diesel (Energistyrelsen 2003). Biodiesel har endvidere et højere fortætningspunkt end fossil diesel, hvilket kan give problemer ved opstart om vinteren ved iblandinger højere end 5 %. Endelig er biodiesel en svag syre, som i visse tilfælde kan have en eroderende effekt på de materialer, det kommer i kontakt med. Det kan derfor være nødvendigt at udskifte slanger og pakninger ved overgangen til brændstofblandinger med biodiesel (Acroumanis 2000; Bozbas 2005). Ligesom fossil diesel kan biodiesel trænge ned i motoren og blandes med motorolien, men i modsætning til fossil diesel fordamper biodiesel ikke. Det er derfor nødvendigt med hyppigere olieskift på biler, som kører på biodieselblandinger end ved brug af rent fossil brændstof (Beer et al. 2002; Haupt & Bockey 2006). Der kan være en del problemer med anvendelsen af høje koncentrationer (B85, B100) af biodiesel bl.a. pga. fortætningspunktet, syreegenskaber og oxidationsegenskaber (Bozbas 2005).

### 2.5.2 CO<sub>2</sub>-udledning

Anvendelsen af fossil diesel giver anledning til en samlet CO<sub>2</sub>-udledning på 2,93 kg/l, heraf udledes der 0,23 kg/l i forbindelse med fremstillingen, og de resterende 2,7 kg/l udledes i forbindelse med afbrænding i motoren. Anvendelsen af RME giver anledning til en samlet CO<sub>2</sub>-udledning på 0,86 kg/l dieselækvivalent<sup>15</sup>. Hele denne udledning på 0,86 kg/l kommer fra fremstillingen af RME, igennem input såsom diesel til landbrugsmaskiner til dyrkning af raps, strøm til produktionsanlægget og fossil metanol til esterficeringen m.v. Selve afbrændingen af RME i motoren medfører ikke nogen netto-CO<sub>2</sub>-udledning, da RME er CO<sub>2</sub>-neutral (se fodnote 3). Det betyder, at erstatning af en liter fossil diesel med RME kan spare atmosfæren for ca. 2,1 kg CO<sub>2</sub> (Energistyrelsen 2003).

---

<sup>13</sup> CO<sub>2</sub>-reduktionspotentialet er den mængde CO<sub>2</sub>, der potentielt kan spares ved at erstatte en liter fossil brændstof med biobrændstof.

<sup>14</sup> Angiver brændstoffets tændvillighed.

<sup>15</sup> Dvs. at der er korrigeret for det lavere energiindhold i RME i forhold til fossil diesel.

Denne opgørelse af CO<sub>2</sub>-regnskabet for RME er baseret på, at esterificeringen af rapsolien sker med metanol, som det finder sted på Emmelev Mølle. Metanol kan substitueres med ethanol, hvorved der produceres Raps Ethyl Ester (REE), der kan anvendes som biodiesel på lige fod med RME. Anvendes bioethanol til denne esterificering, f.eks. i integrerede anlæg, kan CO<sub>2</sub>-udslippet forbundet med anvendelsen af biodiesel reduceres yderligere – omkring 15 % (CONCAWE et al. 2006).

### 2.5.3 Øvrige emissionseffekter

Ud over potentialet for at reducere CO<sub>2</sub>-emission, er det relevant at diskutere de øvrige emissionseffekter ved anvendelsen af biodiesel. Det er ofte fremhævet, at anvendelsen af biodiesel giver anledning til lavere emission af bl.a. svovldioxid (SO<sub>2</sub>), partikler og karbonmonoxid (CO) i forhold til almindelig diesel. Omvendt skulle emissionen af nitrogenoxider (NO) være 10-20 % højere end for almindelig diesel (Acroumanis 2000; Engine Manufacturers Association 2003). Det er imidlertid værd at bemærke, at emissionseffekter dels afhænger af iblandingsgraden og dels af hvilken type motor, der anvendes til test (Engine Manufacturers Association 2006). Desuden skal nettoeffekterne fra anvendelsen af biodiesel ses i lyset af det brændstof, som erstattes. Nye emissionsstandarder ved anvendelse af fossil diesel kan være med til at udligne effekten af eventuelle lavere emissioner fra biodiesel. Det er derfor vanskeligt at drage entydige konklusioner omkring emissionseffekter ved anvendelsen af biodiesel udover CO<sub>2</sub>-emission (SRU 2005).

### 2.5.4 Nedbrydelighed

Forekomst af mikroorganismer, der kan nedbryde biodiesel i naturen samt evnen til oxidation betyder, at forureningsskader ved udslip af biodiesel er mindre sammenlignet med fossil diesel. Undersøgelser har vist, at i tilfælde af et biodieseludslip er 95 % nedbrudt efter 28 dage. I tilfælde af et udslip med fossil diesel er 40 % nedbrudt efter 28 dage. For blandinger af fossil diesel og biodiesel har undersøgelser vist, at biodiesel har en positiv synergieffekt på nedbrydningshastigheden af fossil diesel (Zhang et al. 1995).

### 2.5.5 Rapsdyrkning

Ved dyrkning af raps vil der være en miljøbelastning bl.a. som følge af anvendelse af pesticider og udvaskning af kvælstof fra gødning. Endvidere vil der – ligesom ved dyrkning af andre afgrøder – forekomme udledning af lattergas (N<sub>2</sub>O), der bidrager til drivhuseffekten.

Den samlede miljøbelastning ved rapsdyrkning til RME-produktion vil dog afhænge af, hvor meget rapsarealet udvides<sup>16</sup> og hvilke afgrøder rapsdyrkingen erstatter, da disse afgrøder også vil have en miljøbelastning. Ved forøget dansk rapsproduktion på arealer udlagt til brak vil der ske en forøgelse af nettomiljøpåvirkningen. Rapsproduktionen på brak kan forøge det samlede forbrug af gødning og dermed lede til en forøget kvælstofudvaskning og emission af lattergas og ammoniak (CONCAWE et al. 2006; SRU 2005). Desuden kan et øget pesticidforbrug påvirke vandmiljø og biodiversitet.

De ovenfor nævnte fordele og ulemper er – som nævnt tidligere – ikke inddraget yderligere i analysen af CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne, da denne primært er en omkostningseffektivitets-analyse, der alene inddrager CO<sub>2</sub>. Hvis de ovenfor nævnte miljøhensyn og f.eks. forsyningsikkerhed blev inddraget i analysen kunne RME tænkes at være mere fordelagtig. Se kapitel 7.2.

---

<sup>16</sup> Da landbrugsareal er en begrænset ressource, kan en øget efterspørgsel efter raps medføre en intensivering af landbrugsproduktionen, hvis udbudet af de øvrige landbrugsafgrøder skal holdes konstant. Hvis denne marginal-effekt medtages, trækker det i retning af at øge CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen for RME, dvs. gøre det mindre fordelagtigt.

### 3 Biodiesel i EU – Danmark og de øvrige medlemslande

I det følgende beskrives den politiske baggrund omkring anvendelsen af biobrændstoffer i Danmark.

#### 3.1 Danmark – en omkostningseffektiv klimastrategi

Som følge af bl.a. Kyoto-protokollen skal Danmark reducere den gennemsnitlige årlige udledning af drivhusgasser<sup>17</sup> i perioden 2008-2012 med 21 pct. i forhold til basisåret 1990.

De politisk aftalte tiltag, som skal gøre Danmark i stand til at opfylde sine forpligtelser, er specificeret i ”En Omkostningseffektiv Klimastrategi” fra 2003 (herefter betegnet som Klimastrategien). Klimastrategien specificerer bl.a., at der til nedbringelse af CO<sub>2</sub>-udledningen, dels skal sættes på fleksible mekanismer gennem køb af CO<sub>2</sub>-kreditter i udlandet og CO<sub>2</sub>-kvoter og dels på indenlandske tiltag, som f.eks. vedvarende energi (Finansministeriet et al. 2003).

Der er mange forskellige typer af tiltag, som kan føre til CO<sub>2</sub>-reduktion og nogle tiltag koster mere end andre. Ud fra argumentet om omkostningseffektivitet, vil det være relevant at holde CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne ved et hjemligt tiltag op imod, hvad det rent faktisk koster at købe CO<sub>2</sub>-kvoter på det internationale marked. Kun tiltag, som har CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger svarende til eller lavere end køb af CO<sub>2</sub>-kvoter eller -kreditter i udlandet, kan betragtes som omkostningseffektive (Finansministeriet et al. 2003).

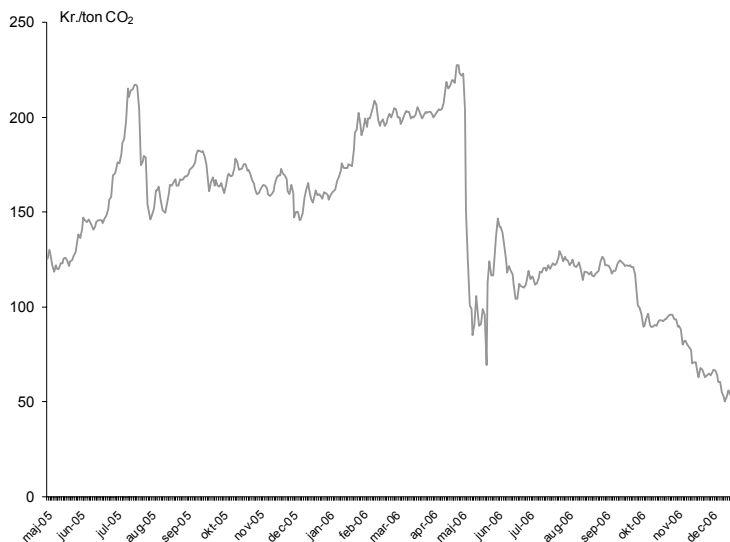
Fra april 2005 til december 2006 har kvotepriserne varieret mellem 6,5 og 30,5 €/ton CO<sub>2</sub> i løbende priser, svarende til en kvotepris i DKK mellem 50 kr./ton og 230 kr./ton CO<sub>2</sub><sup>18</sup>. Figur 3.1 illustrerer prisudviklingen for CO<sub>2</sub>-kvoter for 2005 og 2006.

---

<sup>17</sup> Luftarter (herunder CO<sub>2</sub>) der fremkalder drivhuseffekt.

<sup>18</sup> Kilde: European Climate Exchange (ECX), [www.europeanclimateexchange.com](http://www.europeanclimateexchange.com)

**Prisudvikling CO<sub>2</sub>-kvoter**



Figur 3.1. Prisudvikling for CO<sub>2</sub>-kvoter 2005-2006 på det Europæiske marked

KILDE: EUROPEAN CLIMATE EXCHANGE ([WWW.EUROPEANCLIMATEEXCHANGE.COM](http://WWW.EUROPEANCLIMATEEXCHANGE.COM))

Det kan imidlertid være vanskeligt at give et entydigt bud på omkostningseffektiviteten af et langsigtet tiltag på basis af de varierende priser på CO<sub>2</sub>-kvoter. Den gennemsnitlige kvotepris for 2005-2006 var 145 kr./ton (uden indregning af NAF<sup>19</sup>). I denne rapport anvendes Energistyrelsens (2006) midlertidige skøn for markedsprisen på kvoter på 180 kr./ton CO<sub>2</sub> (inkl. NAF) for alle årene fra 2005 og frem.

**3.2 EU's Biobrændstofdirektiv**

Europa Parlamentets og Rådets Biobrændstofdirektiv fra maj 2003 har bl.a. til formål at fremme anvendelsen af biobrændstoffer til transportformål i medlemsstaterne. Gennem fastsættelse af vejledende mål for øget anvendelse af biobrændstoffer skulle direktivet bidrage til overholdelse af forpligtelserne med hensyn til klimaændringer, miljøvenlig forsyningsikkerhed og fremme af vedvarende energikilder (Europa-Parlamentet 2003).

---

<sup>19</sup> Nettoafgiftsfaktoren (NAF) udtrykker virkningen af den samlede gennemsnitlige afgiftsbelastning i økonomien og bruges for at omregne fra faktorpriser til forbrugerpriser (se i øvrigt afsnit 4.1 for en nærmere beskrivelse). For at kunne sammenligne de samfundsøkonomiske omkostninger på indenlandske reduktionstiltag med kvoteprisen skal denne korrigeres med nettoafgiftsfaktoren, hvorved omkostningerne ved at erhverve kvoter bliver opgjort i forbrugerpriser, som er den sammenlignelige størrelse på tværs af tiltag (Finansministeriet et al. 2003).

Direktivets vejledende mål for andelen af biobrændstoffer i transportsektorens totale brændstofforbrug var som sagt 2 % i 2005 med en gradvis øgning til 5,75 % ved udgangen af 2010. Nationale referenceværdier for andelen af biobrændstoffer til transport bestemmes af den enkelte medlemsstat (Europa-Parlamentet 2003).

I redegørelsen om implementering af EU's biobrændstofdirektiv fra 2004 har Danmark valgt at fastsætte et vejledende mål på 0,1 % af forbruget af benzin og diesel pr. 31. december 2006, hvilket begrundes med, at Danmark anvender en betydelig andel biomasse i produktionen af el og varme. Dette anses for at være den mest omkostningseffektive anvendelse af biomasse til energiformål (Økonomi- og Erhvervsministeriet et al. 2004).

### **3.3 Handlingsplan for biobrændstoffer (2006)**

En række EU-medlemslande har i forbindelse med vedtagelsen af EU's Biobrændstofdirektiv (2003) igangsat en række initiativer for at fremme anvendelsen af biobrændstoffer til transport. De hyppigst anvendte virkemidler har været afgiftsfritagelser samt fremme af investeringer i infrastruktur, forskning og produktion. Til trods herfor var 2 % målsætningen kun opfyldt i få medlemslande - heriblandt Tyskland og Sverige (Commission of the European Communities 2004; Commission of the European Communities 2006). Det er stadig uvist, om de projekterede 5,75 % vil blive opfyldt i alle EU lande ved udgangen af 2010.

Som et forstadium til det andet Biobrændstofdirektiv, der er planlagt til slutningen af 2006, udsendte Kommissionen i starten af 2006 en handlingsplan for biobrændstoffer. Handlingsplanen fokuserer på yderligere promovning af biobrændstoffer i transportsektoren i EU. I forhold til 2003-Direktivet har 2006-Handlingsplanen et øget fokus på bl.a. forsyningssikkerhed gennem en spredning af brændstofforsyningen på flere kilder samt øget anvendelse af fornybare energiresourcer. Herudover fremhæves mulighederne for vækst i f.eks. landbrugssektoren, både i EU og globalt. Handlingsplanen fremhæver endvidere nødvendigheden af yderligere analyser omkring bl.a. omkostningseffektiviteten af de tilgængelige biobrændstoffer før lanceringen af Direktivet i slutningen af året (Commission of the European Communities 2006). Der er med andre ord et voksende fokus på fordelene og ulemperne ved biobrændstoffer til transport i det meste af EU, og argumenter som forsyningssikkerhed, risikospredning og økonomisk vækst fremhæves ofte sammen med mulighederne for CO<sub>2</sub>-besparelse. Derfor skal resultaterne i denne rapport tilføjes sådanne argumenter, før den kan anvendes som endeligt beslutningsgrundlag.

## 4 Metode

### 4.1 CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger, en samfundsøkonomisk tilgang

Den samfundsøkonomiske vurdering tager udgangspunkt i de velfærdsændringer, som et givent tiltag, – f.eks. biobrændstoffer i transportsektoren – giver anledning til.

Omkostningerne opgøres, som det ressourceforbrug og de nyttetab, som tiltaget medfører. Det kan f.eks. være anlægsinvesteringer, driftsomkostninger og negative sundheds- og miljøeffekter. Gevinsterne opgøres som de nytteforøgelser og omkostningsbesparelser, som tiltaget fører med sig, f.eks. værdien af producerede varer og ydelser samt sparede omkostninger, der ellers skulle være brugt til samme formål, og endelig positive miljøeffekter (Møller et al. 2000).

Den samfundsøkonomiske vurdering er baseret på værdien af omkostninger og gevinster ved et tiltag. Disse omkostninger og gevinster opgøres i såkaldte beregningspriser. Beregningsprisen afspejler den marginale værdiproduktivitet for samfundet, som et gode, f.eks. biobrændstof, olie og sparet CO<sub>2</sub>-emission, giver anledning til. Mere specifikt afspejler beregningsprisen samfundets betalingsvillighed for de forbrugsgoder, som indgår i et tiltag (Møller et al. 2000). Som vist i det følgende, skal de fleste priser korrigeres for at afspejle dette værdiniveau.

I samfundsøkonomiske vurderinger betragtes indenlandske afgifter som en omfordeling af ressourcer. Skatter og afgifter bidrager altså ikke til en decideret værdiforøgelse eller -forringelse i samfundet. De har imidlertid indflydelse på de købspriser, forbrugere betaler for deres varer. Derfor renses markedspriser på produktionsfaktorer for indenlandske skatter, afgifter og subsidier. Herefter forhøjes de med en nettoafgiftsfaktor (NAF), som er et udtryk for den gennemsnitlige afgiftsbelastning i økonomien (Energistyrelsen 2005).<sup>20</sup> Man når således frem til en samfundsøkonomisk beregningspris, der udtrykker produktionsfaktorernes marginale værdiproduktivitet. Nettoafgiftsfaktoren for indenlandske produktionsfaktorer er 1,17 og for internationalt handlede goder 1,25 – se i øvrigt Møller et al. (2000) for forklaring og beregning af nettoafgiftsfaktorerne.

---

<sup>20</sup> Er der tale om goder og ydelser, for hvilke der findes en markedspris, f.eks. råvareinput som råolie, korn og rapsfrø, anvender man denne markedspris men fratrækker eventuelle skatter og afgifter. Er der tale om varer eller ydelser, for hvilke prisen er fremkommet på et stærkt reguleret/subsidieret marked, eller hvis der ikke findes en markedspris for produktet, anvender man i stedet en beregningspris, baseret på, hvad det koster i f.eks. anlægsinvesteringer og inputfaktorer såsom råvarer, energi og arbejds løn til at producere varen (Energistyrelsen 2005).



Der vil ofte være en række usikkerheder forbundet med den samfundsøkonomiske vurdering. For at anskueliggøre diverse usikkerheder foretager man som regel en følsomhedsanalyse i forbindelse med den samfundsøkonomiske vurdering. Følsomhedsanalysen viser, hvad der sker med resultatet, når man ændrer de forskellige beregningsparametre og antagelser, som ligger forud for det beregnede resultat. Som oftest vil der i følsomhedsanalysen indgå prisændringer på inputfaktorer som olie, raps, korn og ændringer i den kalkulationsrente, som investeringerne afskrives med (Hanley & Spash 1993; Møller et al. 2000).

#### 4.2 Beregning af CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger

I Energistyrelsens vejledning til samfundsøkonomiske analyser på energiområdet beregnes CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger på energiområdet ved hjælp af følgende formel:

$$P_{CO_2} = \frac{\sum_{t=1}^T (B_t - C_t)(1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^T (\Delta CO_2^t)(1+r)^{-t}}$$

hvor:

$P_{CO_2}$  = prisen på CO<sub>2</sub> eller CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen

$B$  = benefits (fordele) ved projektet

$C$  = costs (omkostninger) ved projektet (ekskl. CO<sub>2</sub>-omkostninger)

$\Delta CO_2$  = ændring i CO<sub>2</sub>-udslip i perioden  $t$

$r$  = kalkulationsrenten

$t$  = enkeltperiode

$T$  = projektets samlede levetid (sum af enkeltperioder)

KILDE: ENERGISTYRELSEN (2005)

Omkostninger (C) og gevinster (B) er et udtryk for de økonomiske konsekvenser forbundet med produktion og anvendelse af fossil diesel hhv. biodiesel over en 20-årig periode med en kalkulationsrente på 6 % (Energistyrelsen (2005)).

### 4.3 Beregningsmodel

Som beskrevet i introduktionen er der i denne rapport opstillet en model til beregning af CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen for RME på baggrund af Energistyrelsens model fra 2003 med indregning af nye beregningsforudsætninger.

Energistyrelsens beregningsmodel består af 3 sammenkoblede modelkomponenter. Den ene modelkomponent redegør for energiindholdet, CO<sub>2</sub>-udledningerne og beregningsprisen for fossil diesel. Den anden modelkomponent redegør for energiindhold, CO<sub>2</sub>-udledning samt en beregningspris for raps baseret på, hvad det koster at dyrke denne afgrøde. Den tredje modelkomponent redegør for energiindhold, CO<sub>2</sub>-udledning samt beregningspris for inputfaktorerne til produktionen af RME. Modelkomponenten sammenholder endvidere energiindhold, CO<sub>2</sub>-udslip samt beregningspris for RME med fossil diesel, og på basis heraf estimeres CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen for RME givet de i modellen anvendte antagelser.

IMV anvender i store træk samme type opstilling af modelkomponenterne som Energistyrelsen. En gengivelse af IMV's modelkomponenter for fossil diesel og biodiesel fremgår af bilag 1. Beregningsforudsætningerne og ændringerne heraf er der gjort nærmere rede for i afsnit 4.4.

#### 4.3.1 EMBIO modellen – en livscyklus-analyse

Tallene for CO<sub>2</sub>-udledning for hhv. fossil diesel og biodiesel bygger – i såvel denne rapport som i Energistyrelsen (2003) – på EMBIO<sup>21</sup>-modellen fra 1997, som er Energistyrelsens egen livscyklusanalyse (LCA). Formålet med EMBIO-modellen var at danne rammen om en livscyklusbaseret model, som kunne benyttes til samfundsøkonomisk, privatøkonomisk og miljømæssig vurdering af anvendelsen for biobrændstoffer til transport. Hovedvægten for modellen var CO<sub>2</sub>-besparelser og CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger ved brugen af forskellige typer biobrændstof. Andre miljømæssige konsekvenser af fremstillingen af biobrændstoffer, som f.eks. ændret anvendelse af landbrugsarealer er kun behandlet kvalitativt i modellen (Energistyrelsen 1997).

EMBIO-modellens livscyklusanalyse beskæftiger sig med 1. og 2. ordensvirkningerne af processerne forbundet med produktion og anvendelse af brændstof. Det betyder, at f.eks. CO<sub>2</sub>-udledningen, energiforbruget og omkostningerne forbundet

---

<sup>21</sup> EMBIO: Energistyrelsens Model til økonomisk og miljømæssig vurdering af BIObrændstoffer.

med anvendelsen af brændstoffet (1. orden) samt med f.eks. dyrkning<sup>22</sup> og transport af raps samt raffinering af fossil diesel (2. orden) er inkluderet i analysen. Derimod betragtes f.eks. CO<sub>2</sub>-udledningerne forbundet med produktion af maskiner og raffinaderianlæg (3. ordensvirkninger) som marginale i forhold til analysens formål og er derfor ikke inddraget (Energistyrelsen 1997).

Siden EMBIO-modellen blev udarbejdet, er der udført en del arbejde inden for LCA på biodiesel-området, specielt i udlandet, og EMBIO-modellen er ikke opdateret i forhold hertil. F.eks. kan nævnes, at der i de senere analyser indgår N<sub>2</sub>O (lattergas)<sup>23</sup>, som udover at være en kraftig drivhusgas også er med til at nedbryde ozonlaget. Endvidere beregnes biprodukternes (rapskage og glycerin) CO<sub>2</sub>-effekt i Energistyrelsen (2003) ved at benytte den økonomiske værdi af biprodukterne til at fordele en del af CO<sub>2</sub>-belastningen til disse biprodukter. Ifølge LCA-standarden bør der i stedet regnes med CO<sub>2</sub>-værdien for de alternative produktionsveje. For rapskage og glycerin kan disse f.eks. være hhv. byg og petrokemisk glycerin fremstillet ud fra propylen.

Som følge af EMBIO-modellens begrænsninger er det hensigtsmæssigt at sammenligne med andre LCA-studiers resultater mht. CO<sub>2</sub>-reduktionspotentiale for biodiesel i forhold til fossil diesel. Ifølge LCA-studier udført af "Institute for Energy and Environmental Research" kan der spares omkring 2,4 kg CO<sub>2</sub> /liter dieselækvivalent (Reinhardt & Gärtner 2003).

Det seneste og største generelle studie af biobrændstoffer på europæisk plan er Well-to-Wheels studiet udført af bl.a. den Europæiske Kommission (CONCAWE et al. 2006), hvor CO<sub>2</sub>-reduktionen ved at anvende RME er på omkring 1,7 kgCO<sub>2</sub> /liter dieselækvivalent. Det er klart at forskellene i de nævnte analysers resultater afhænger af forudsætningerne i analyserne, men som udgangspunkt ligger CO<sub>2</sub>-reduktionspotentialet i EMBIO-modellen ikke langt fra andre studiers resultater, selvom forudsætninger og beregningsmetoder måtte være forskellige. Mht. omkostningsberegningerne i nærværende rapport, er konsekvensen af at anvende forskellige reduktionspotentialer kort beskrevet i afsnit 5.3.

---

<sup>22</sup> Herunder indgår f.eks. også CO<sub>2</sub>-udledning fra gødningsproduktionen.

<sup>23</sup> N<sub>2</sub>O er en luftart med en drivhuseffekt ca. 300 gange større end CO<sub>2</sub> pr. kg. Endvidere nedbryder den ozonlaget i stratosfæren.

#### 4.4 Forudsætninger og parameterverdier

Følgende generelle forudsætninger og metoder er anvendt:

- 20-årig investeringsperiode (2007-2026), med investeringer foretaget i basisår 2006
- Samfundsøkonomisk kalkulationsrente på 6 %
- Omkostninger opgjort i (faste 2006) faktorpriser, ekskl. moms og afgifter og forhøjet med nettoafgiftsfaktor (NAF)
- CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen beregnes på baggrund af de årlige annuiserede omkostninger og CO<sub>2</sub>-reduktioner

Tabel 4.1 giver en oversigt over ændringer foretaget i denne rapport i forhold til Energistyrelsens beregninger. Priserne i de nye beregninger er opgjort i 2006 priser<sup>24</sup>.

---

<sup>24</sup> Beregnet på baggrund af forbrugerprisindeks.

**Tabel 4.1 Ændringer i beregningsparametre i IMV rapport i forhold til Energistyrelsens beregninger fra 2003.**

Forudsætning	Energistyrelsen 2003	Note ENS	IMV 2006	Note IMV
<b>Overordnede forudsætninger</b>				
Nettoafgiftsfaktor	1,17	Alle varer forudsættes nationalt handlet <sup>25</sup>	1,17 1,25	For nationalt handlede goder For internationalt handlede goder
<b>Fossil diesel</b>				
Råoliepris	Ca. 30US\$/td.	IEA prognose 2002	51US\$/td.	IEA prognose 2006
Valutakurs US\$	600 kr./100 US\$		600 kr. /100 US\$	Energistyrelsen (2006)
Raffinering og håndtering*	26 % af råoliepris	Energistyrelsens beregninger	30 % af råoliepris	Forskel mellem råoliepris og produktpris for diesel
<b>Samf. øk. dieselpris inkl. NAF</b>	<b>1,91 kr./l</b>		<b>3,2 kr./l</b>	
<b>Rapsfrø</b>				
Beregningspris på raps	Beregningsprisen på raps baseret på produktionsomkostningerne ved rapsdyrkning.		Beregningsprisen for raps baseres på <i>markedsprisen</i> , dvs. fakturerede rapsfrøpriser inkl. transport på 0,1 kr./kg og NAF.	
<b>Samf. øk. rapsfrøpris inkl. NAF</b>	<b>1,59 kr./kg rapsfrø</b>		<b>2,4 kr./kg rapsfrø</b>	
<b>RME-produktion, input</b>				
Investeringer	0,22 kr./kg RME	Anlægsinvesteringer 270 mio. kr. 2002	0,25 kr./kg RME	290 mio., 2002 investeringer i 2006 priser
El	0,015 kr./kg RME	Oplysninger Emmelev Mølle	0,017 kr./kg RME	2002 priser fremskrevet til 2006
Naturgas	0,024 kr./kg RME		0,028 kr./kg RME	
Rapsfrø	4,50 kr./kg RME	Se ovenfor	6,16 kr./kg RME	Se ovenfor
Metanol	0,361 kr./kg RME	Oplysninger Emmelev Mølle	0,301 kr./kg RME	2002 priser fremskrevet til 2006
Kemikalier	0,098 kr./kg RME		0,051 kr./kg RME	
Andre omk.	0,447 kr./kg RME		0,494 kr./kg RME	
<b>RME-produktion, biprodukter</b>				
Rapskage	2,51 kr./kg RME	Pris: 1400 kr./ton inkl. NAF	1,301 kr./kg RME	Pris: 850 kr./ton inkl. NAF
Glycerin	0,397 kr./kg RME	Pris: 2668 kr./ton inkl. NAF	0,574 kr./ kg RME	Pris 3250 kr./ton inkl. NAF
Andre biprodukter	0,198 kr./kg RME	Oplysninger Emmelev Mølle	0,113 kr./kg RME	Oplysninger Emmelev Mølle
<b>Beregningspris RME</b>				
Udnyttelsesgrad	36,7 %	Energistyrelsen (2003)	40,5 %	Oplysninger Emmelev Mølle
<b>Samfundsøkonomisk RME pris</b>	<b>2,45 kr./l RME</b>	Korrigeret for vægtfylde 88 % og brændværdi 92 %	<b>5,08 kr./l RME</b>	Korrigeret for vægtfylde 88 % og brændværdi 92%

\* DER INDGÅR OLIE I RAFFINERINGSPROCESSEN, OMKOSTNINGER HERTIL UDGØR DERFOR EN PROCENTDEL AF RÅOLIEPRISEN

KILDE: ENERGISTYRELSEN (2003) OG EGNE BEREGNINGER.

<sup>25</sup> For enkelhedens skyld skelnes der ikke mellem internationalt handlede goder og indenlandske produktionsfaktorer i Energistyrelsens 2003 beregninger.

Som det fremgår af tabel 4.1, er beregningsforudsætningerne, der ligger til grund for estimaterne på CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne i denne rapport, på nogle punkter de samme som i 2003, men på nogle punkter ændret. En nærmere redegørelse for de væsentligste ændringer følger herunder.

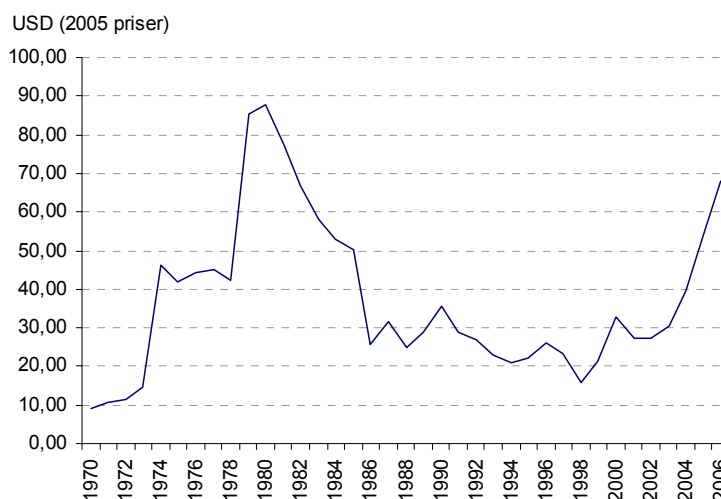
#### 4.5 Beregningspriser for fossil diesel og olie

Prisen på fossil diesel bruges til at beregne, hvad det koster at erstatte diesel med RME. Jævnfør afsnit 4.1 kan markedsprisen på diesel anvendes. Eftersom et vist olieforbrug er forbundet med raffineringen af råolie til diesel, er raffineringssomkostningerne – og dermed prisen på diesel – afhængige af prisen på råolie.

##### Prisen på råolie

Energistyrelsen anvender i 2003 en råoliepris på ca. 30 US\$ pr. tønde<sup>26</sup>. I maj 2006 var råolieprisen omkring 70 dollar pr. tønde. Figur 4.1 illustrerer svingningerne i råolieprisen. Råoliepriser er følsomme overfor mere eller mindre uforudsigelige begivenheder som f.eks. naturkatastrofer og politiske og militære konflikter. Det kan med andre ord være vanskeligt at forudsige, hvordan råolieprisen vil udvikle sig, selv i nærmeste fremtid.

##### Oliepriser



Figur 4.1. Udvikling i gennemsnitlige oliepriser 1970 – 2006 (US\$ 2005 priser)

KILDE: BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY JUNE 2006

<sup>26</sup> Beregnet ud fra fremskrivningen af olieprisen i publikationen 'World Energy Outlook 2002' udgivet af International Energy Agency.

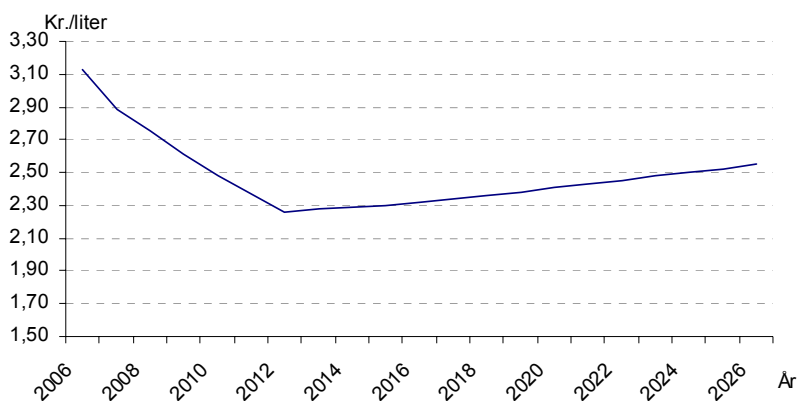
Det internationale energiagentur (IEA) antager i deres seneste skøn for olieprisens udvikling (International Energy Agency 2006), at råolieprisen vil falde fra sit høje niveau i 2006 til 47 dollar pr. tønde i 2012 (2005 dollars). Derefter forudses prisen at stige langsomt til 50 dollar pr. tønde i 2020 og 55 dollar i 2030. Der er naturligvis stor usikkerhed tilknyttet disse estimater. I denne rapport anvendes IEA's antagelser fra 2006 om olieprisen for perioden efter 2006.

EIA (Energy Information Administration, U.S. Department of Energy) har lavet lignende fremskrivninger af olieprisen, som ligger tæt på IEA's fremskrivning. Udover et basis-scenarie for olieprisens udvikling anvender EIA endvidere et høj- og et lavpris-scenarie, hvor højpris-scenariet beskriver 15 % mindre olieressourcer end i basisscenariet, samt at det er dyrere at producere olien, mens der i lavpris-scenariet er 15 % større olieressourcer, og det er billigere at producere i forhold til basis-scenariet. For at inddrage usikkerheden omkring olieprisens udvikling er disse to scenarier medtaget i det følgende.

#### Prisen på diesel

For at beregne en fossil dieselpris, der er sammenlignelig med produktionsprisen på biodiesel af værk, tages der udgangspunkt i importprisen på fossil diesel, som den beregnes i Energistyrelsen (2006), dvs. som 125 % af importprisen på olie. Med udgangspunkt i Energistyrelsen (2003) tillægges et beløb for håndtering, administration og salg på 0,12 kr./liter<sup>27</sup>. Figur 4.2 viser den forventede dieseloliepris over 20 år med udgangspunkt i IEA's basis-scenarie for olieprisens udvikling.

#### Forventet dieselpris



Figur 4.2. Forventede pris på diesel over en tidshorisont på 20 år (2006 priser)

KILDE: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2006), ENERGISTYRELSEN (2006) SAMT EGNE BEREGNINGER

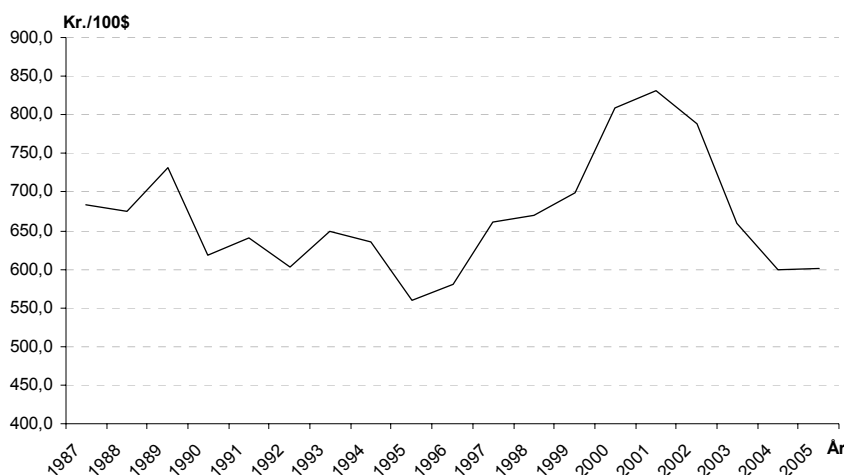
<sup>27</sup> Beløb på 0,11 kr./l fra Energistyrelsen (2003) omregnet til 2006 pris.

På baggrund af ovenstående kan den gennemsnitlige årlige (annuiserede) samfundsøkonomiske pris ved fossil diesel beregnes til 3,21 kr./liter inkl. NAF på 1,25.

Valutakursen

Dollarkursen har betydning for den danske importpris på olie og dermed dieselpri- sen i Danmark. I denne rapport's beregninger fastsættes dollarkursen for perioden 2006-2026 til 600 kr./100 dollar på baggrund af anbefalingerne i Energistyrelsen (2006). Det er dog i realiteten vanskeligt entydigt at forudsige dollarkursens udvik- ling. Som eksempel er vist den gennemsnitlige valutakurs for 1987 – 2006 i figur 4.3. For denne periode var den gennemsnitlige dollarkurs 668 kr./100 US\$. Betyd- ningen for resultatet af den svingende dollarkurs er analyseret i kapitel 6 under usikkerhedsanalysen.

**Historisk valutakurs**



Figur 4.3. Udviklingen i valutakursen for US\$ 1987 - 2005

KILDE: NATIONALBANKEN (2006).

**4.6 Beregningspris for raps**

Rapsfrøpriser

I beregningerne fra 2003 blev den samfundsøkonomiske beregningspris for raps fastsat på basis af produktionsomkostningerne forbundet med rapsdyrkning, dvs. maskiner, gødning osv. Der blev endvidere taget udgangspunkt i, at al raps til pro- duktion af RME blev dyrket som nonfood raps på brakarealer, hvorfor jordrenten<sup>28</sup>,

<sup>28</sup> Værdien af jorden er normalt udtrykt ved jordrenten, som er den værdi, der er tilbage til aflønning af jorden, når alle andre produktionsfaktorer er aflønnet (Møller et al. 2000).



dvs. den samfundsøkonomiske værdi af jorden, blev sat til nul. Argumentet herfor var, at braklagt jord ikke har en produktiv alternativ anvendelse, dermed bliver aflønningen af jorden ”gratis”. Beregningsprisen for raps blev i 2003 fastsat til 1,59 kr./kg inkl. NAF og transport (Energistyrelsen 2003).

Der anvendes i dag langt mere raps til produktion af RME i Danmark end det, som dyrkes på braklagte arealer eller som er energiafgrøder med tilskud i Danmark (se bilag 2)<sup>29</sup>. Den resterende rapsproduktion har derfor en alternativ anvendelse som f.eks. foder og koldpresset rapsolie. Som følge af ændringerne i EU's landbrugsstøtteordninger i 1992 kan det nuværende marked for raps i EU betragtes som ikke-reguleret, og raps handles til verdensmarkedspriser<sup>30</sup>. Det antages derfor, at den samfundsøkonomiske rapspris svarer til den fakturerede rapsfrøpris *ab* landmand forhøjet med NAF. Figur 4.4 illustrerer udviklingen i rapsfrøpriser, faktureret *ab* landmand fra 1993-2006 - omregnet til 2006-priser. Gennemsnitsprisen for raps *ab* landmand fra 1993-2005<sup>31</sup> var 1,87 kr./kg i faste priser. For høsten 2006 er der handlet til priser på over 1,90 kr./kg.

#### Historiske rapsfrøpriser



Figur 4.4. Udvikling i rapsfrøpriser faktureret ab landmand 1993-2006 (2006-priser).

KILDE: DANSK LANDBRUG (2006) OG EGNE BEREGNINGER

<sup>29</sup> Generelt er det sådan, at enårige nonfood afgrøder (herunder raps til biodiesel) kan dyrkes på udtagne/braklagte arealer med kontraktpligt. Energiafgrøder (herunder raps til biodiesel) kan dyrkes på almindelige arealer med et EU energiafgrødetilskud på 335 kr./ha og kontraktpligt.

<sup>30</sup> Man kan diskutere om dette er helt korrekt, da raps – dyrket som energiafgrøde (på kontrakt) på almindelige arealer – kan opnå et tilskud på 335 kr./ha. Som modargument er der eksempler på, at aftagere af rapsfrø tager et fradrag i prisen, hvis raps dyrkes som nonfood afgrøde på brakjord eller som energiafgrøde med tilskud på almindelig landbrugsjord (se efterfølgende afsnit ”Energiafgrødetilskud”).

<sup>31</sup> Perioden før 1993 er frafaldt, da der i 1992 blev indført en EU landbrugsreform, der fjernede prisstøtten på rapsfrø med relativ stor indflydelse på priserne.

I CONCAWE et al. (2006) er der foretaget et skøn for rapsprisens udvikling på mellemlang sigt på baggrund af prisforventninger foretaget af DG-AGRI<sup>32</sup> og FAPRI<sup>33</sup>. Med udgangspunkt i at EU opfylder sit mål om at erstatte 5,75 % af den fossile brændstof i 2012, er rapsprisen estimeret til 1,82 kr./kg<sup>34</sup>, som er 10 % højere end vurderingerne foretaget af DG-AGRI. Prisen i CONCAWE et al. (2006) ligger således ikke langt fra gennemsnitsprisen på 1,87 kr./kg for raps af landmand i det seneste årti.

Denne rapport anvender den forventede gennemsnitspris for rapsfrø ifølge CONCAWE et al. (2006) på 1,82 kr./kg tillagt et transporttillæg på 0,1 kr./kg.<sup>35</sup>

#### Nettoafgiftsfaktoren

Pga. muligheden for at importere raps til RME produktion i Danmark er det svært at forudsige hvor meget dansk produceret raps, der reelt vil blive anvendt. Da raps frit kan importeres/eksporteres, anvendes der i nærværende rapport en NAF for internationalt handlede goder på 1,25. Det kan dog diskuteres, om dette er en korrekt forudsætning. Hvis man f.eks. antager, at der udelukkende anvendes dansk raps, og hvis rapsen trækkes bort fra anden indenlandsk anvendelse, taler det for at benytte 1,17 som netto-afgiftsfaktor. Hvis det derimod er en dansk eksport af rapsfrø, som bliver reduceret taler dette igen for at benytte 1,25 som netto-afgiftsfaktor. Følsomheden af det samlede resultat af forskellige antagelser om NAF vil blive gennemregnet i afsnit 6.1. Med en NAF på 1,25 bliver rapsfrøprisen på 2,40 kr./kg<sup>36</sup>.

---

<sup>32</sup> Generaldirektoratet for Landbrug og Udvikling af Landdistrikter i EU

<sup>33</sup> Food and Agricultural Policy Research Institute

<sup>34</sup> CONCAWE et al. (2006) regner med forskellige rapsfrøpriser, som afhænger af olieprisens størrelse. De 1,82 kr./kg er derfor et forholdstal beregnet ud fra olieprisen anvendt i denne rapport på 51 US\$.

<sup>35</sup> Olieindholdet i rapsfrøet har også betydning for afregningsprisen på rapsfrø, idet der ved afregning opereres med en basisolieprocent. Ved et højere olieindhold vil der så typisk blive betalt et tillæg til den aftalte basispris. Dette kan have en mindre betydning i forbindelse med følsomheden på rapsprisen og på den mulige mængde olie der kan udvindes. Jo højere olieindhold i frøet jo mere kan der potentielt udvindes, men prisen vil også være højere grundet tillægget. Der er ikke udført beregninger på dette forhold i denne rapport.

<sup>36</sup> I beregningerne fratrækkes endvidere den CO<sub>2</sub> afgift, der betales ved dyrkningen af raps. CO<sub>2</sub> afgiften er sat til 16 kr./ha eller 0,0052 kr./kg rapsfrø ved et udbytte på 3.070 kg/ha.

### Energiafgrødetilskud

Raps til biodiesel kan dyrkes som energiafgrøde på almindelige arealer med et EU energiafgrødetilskud på 335 kr./ha og kontraktpligt. Principielt bør dette tilskud indregnes som en gevinst, da der er tale om en valutaindtægt, der forøger forbrugsmulighederne i Danmark. Endvidere er der eksempler på, at aftagere af rapsfrø tager et fradrag, hvis raps dyrkes som nonfood afgrøde på brakjord eller energiafgrøde med tilskud. Ifølge Landbrugets Rådgivningscenter (AgroMarkets) kan fradraget svinge mellem 2 kr. og 7 kr. pr. 100 kg rapsfrø<sup>37</sup>. Det betyder med andre ord, at den gennemsnitlige rapsfrøpris potentielt kan være lavere i beregningen af CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen.

Det er vanskeligt at vurdere det fremtidige areal under energiafgrødeordningen, og om ordningen vil bestå ud i en længere fremtid, samt hvordan – og om – fradrag i rapsfrøprisen vil gælde over hele tidshorizonten. Endvidere er det muligt at importere rapsfrø, hvilket komplicerer antagelserne yderligere. Ved beregning af CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen i denne rapport er EU-tilskuddet derfor ikke indregnet som en gevinst, og der er heller ikke foretaget korrektioner for fradrag i pris ved nonfood-/energiafgrøde-produktion. Vi har dog i afsnit 6 som en del af følsomhedsanalysen beregnet konsekvenserne af alternative forudsætninger mht. tilskud og fradrag.

## **4.7 Produktionsomkostninger for RME**

### Udnyttelsesgrad

Siden man startede produktionen af RME, er der sket en effektivisering af udnyttelsen af rapsfrø. Man er med andre ord i stand til at udvinde en større andel olie fra rapsfrøene end tidligere. Beregningerne fra 2003 tager udgangspunkt i en udnyttelsesgrad på 36,7 %. Med en vægtfylde på 0,883 og en RME-andel af den pressede olie på 96 % svarer det til, at 1 kg rapsfrø producerer 0,40 liter RME. På Emmelev Mølle er udnyttelsesgraden i dag omkring 40,5 %. Det svarer til, at 1 kg rapsfrø producerer 0,44 liter RME<sup>38</sup>.

### Øvrige inputomkostninger

Anlægsinvesteringerne til en RME-produktion blev i 2002 fastsat til 270 mio. kroner. Dette beløb er fremskrevet til 2006 priser, og annuieret med en kalkulationsrate på

---

<sup>37</sup> Kilde: [http://www.lr.dk/oekonomijura/oekonomiogjura/80-84rapsovervejsalg\\_06.htm](http://www.lr.dk/oekonomijura/oekonomiogjura/80-84rapsovervejsalg_06.htm)

<sup>38</sup> Kilde: Personlig korrespondance, Emmelev Mølle (2006)

6 % for en 20 årig periode. Anlægsinvesteringerne antages at være en indenlandsk produktionsfaktor, så der anvendes en NAF på 1,17.

Ifølge Emmelev Mølle er omkostningerne til metanol, kemikalier samt øvrige omkostninger faldet pga. den højere udnyttelsesgrad. Omkostninger til el og naturgas er uændrede, men fremskrevet til 2006 priser. Alle disse input antages at være internationalt handlede goder, og en NAF på 1,25 er derfor anvendt.

De samlede øvrige inputomkostninger er derved faldet med ca. 10 %, når NAF ikke er indregnet. Med den højere udnyttelsesgrad er den samlede CO<sub>2</sub>-udledning for input faldet fra 1,68 kg CO<sub>2</sub>/kg RME i 2003 til 1,41 kg CO<sub>2</sub>/kg RME i 2006<sup>39</sup>.

Der kan argumenteres for, at priserne på de forskellige input bør påvirkes af olieprisen. Det har ikke indenfor rammerne i denne rapport været muligt at fastsætte en faktor for, hvor meget ændringer i olieprisen indvirker på de forskellige input og output. De input, der kan tænkes at være påvirket mest af olieprisændringer er energiforbruget (specielt el og naturgas), men disse udgør sammenlagt under 1 % af de samlede omkostninger, hvorfor heller ikke disse input reguleres efter olieprisen i beregningerne.

#### Indtjening fra biprodukter

De væsentligste biprodukter fra RME produktionen er rapskage og glycerin. Priserne for disse to produkter blev i Energistyrelsen (2003) sat til den aktuelle markedspris i 2002, og priserne blev antaget at gælde for hele tidshorizonten, uden at markedet blev undersøgt nærmere.

Rapskage er det væsentligste biprodukt fra RME-produktionen og det anvendes som et proteinrigt dyrefoder. Ifølge Emmelev Mølle er prisen for rapskager faldet fra omkring 1200 kr./ton ekskl. NAF til ca. 700 kr./ton. Som for rapsfrø er der i CONCAWE et al. (2006) gjort forventninger til den fremtidige pris for rapskage, hvor der forventes et fald i prisen til en pris på omkring 600 kr./ton. Faldet skyldes især forventningerne til den øgede biodieselproduktion (på 5,75 % af forbrug af fossil diesel). Der er dog stor usikkerhed omkring estimatet ( $\pm 20$  %), pga. mange uforudselige faktorer og manglende kendskab til markedets fleksibilitet (CONCAWE et al. 2006). Som følge af den store usikkerhed omkring estimatet i og da rapskageprisen allerede er faldet betydeligt siden 2003, anvendes en pris på rapskage på 700 kr./ton som oplyst af Emmelev Mølle. Dette estimat ligger desuden også inden for usikkerhedsintervallet på  $\pm 20$  % i CONCAWE et al. (2006).

---

<sup>39</sup> Kilde: Personlig korrespondance, Emmelev Mølle (2006)

Glycerin kan i dag anvendes enten som dyrefoder eller som et kemikalie (i ren form). Som kemikalie er det indtil videre blevet anvendt i fødevarer og kosmetik. Det er vanskeligt at komme med konkrete skøn for fremtidige priser, da priserne på glycerin afhænger meget af kvaliteten/renheden af varen. Generelt er der i de senere år sket et stort fald i priserne, bl.a. som følge af den øgede biodiesel-produktion i Europa og resten af verden. På trods af prisfaldet må man forvente at prisen på glycerin stabiliseres på lang sigt, efterhånden som nye/alternative anvendelsesmuligheder kommer i betragtning. En del markedsanalyser forventer derfor, at glycerinpriserne vil falde yderligere, men stige igen på lang sigt. I det følgende anvendes den nuværende pris (2006 pris) oplyst af Emmelev Mølle (2.600 kr./ton) som en fast gennemsnitspris for hele tidshorizonten, da denne pris allerede har de seneste års prisfald med og kan antages at repræsentere kvaliteten på glycerinen fra Emmelev Mølle.

## 5 Omkostningerne ved CO<sub>2</sub>-reduktion

### 5.1 CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne for RME

Energistyrelsen konkluderer i sine beregninger fra 2003, at CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen ved RME er usikker, og at det centrale estimat herfor er 360 kr./ton CO<sub>2</sub>. Med de ændrede beregningsforudsætninger i nærværende rapport, bliver det centrale estimat for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen for RME på 860 kr./ton CO<sub>2</sub>. Der er altså tale om en højere CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostning, end den Energistyrelsen konkluderede i 2003, og dermed synes RME fortsat ikke at være en omkostningseffektiv måde at reducere CO<sub>2</sub>-udslip på i Danmark. Nedenfor er nærmere redegjort for de beregningsforudsætninger, som ligger til grund for dette resultat.

### 5.2 Faktorenes indvirkning på resultatet

I forhold til beregningerne fra 2003 er de største ændringer i nærværende rapport hhv. olieprisen, rapsfrøprisen, udnyttelsesgraden og en skelnen mellem nettoafgiftsfaktoren for nationalt og internationalt handlede goder. Der er endvidere sket et fald i indtjeningerne fra biprodukter, som også kan have indflydelse på resultatet. En stigning i dollarkursen vil betyde dyrere import af råolie og dermed et fald i CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne, en stigning i udnyttelsesgraden kan ligeledes betyde et lavere omkostningsestimat. Omvendt har en højere rapsfrøpris samt lavere indtjening fra biprodukter betydet en stigning i CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne<sup>40</sup>. Da rapsfrøprisen udgør 85 % af de samlede produktionsomkostninger for RME, har anvendelsen af den fakturerede rapsfrøpris som beregningspris været med til at hæve CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne i forhold til Energistyrelsens beregninger i 2003.

For at give et indtryk af olieprisens indvirkning på resultatet viser tabel 5.1 konsekvensen af de tre forskellige olieprisscenarier nævnt tidligere.

**Tabel 5.1 CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen ved tre olieprisscenarier.**

	Lavprisscenarium 39 US\$/td.	Basisscenarium 51 US\$/td.	Højprisscenarium 73 US\$/td.
CO <sub>2</sub> -reduktionsomkostning	1.200 kr./ton	860 kr./ton	220 kr./ton

<sup>40</sup> Det bør bemærkes, at der i Energistyrelsens rapport konsekvent er anvendt en NAF på 1,17, mens der i nærværende rapport også er anvendt en NAF på 1,25. Hvis der i stedet konsekvent havde været anvendt en NAF på 1,17, ville CO<sub>2</sub> reduktionsomkostningen have været ca. 805 kr./ton mod de nuværende 860 kr./ton.

Ingen af de anvendte oliepriser resulterer i en CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostning mindre end prisen på CO<sub>2</sub>-kvoter (180 kr./ton), selvom reduktionsomkostningen i det høje olieprisscenarie er meget tæt på kvoteprisen og næppe statistisk signifikant forskellig, givet usikkerhederne knyttet til beregningerne. Tabel 5.2 viser 'break-even' priserne for hhv. olieprisen og rapsfrøprisen, hvor CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen bliver hhv. lig med prisen på CO<sub>2</sub>-kvoter og lig med nul. 'Break-even' priserne for de to parametre er beregnet uafhængigt af hinanden, dvs. at der kun beregnes for én parameter, mens alle andre parametre holdes konstant.

**Tabel 5.2 'Break-even' priser for oliepris og rapsfrøpris**

	Red.omk. = kvotepris	Red.omk. = nul
Rapsfrøpris	1,35 kr./kg	1,20 kr./kg
Oliepris	74 US\$/td.	80 US\$/td.

Skulle man anvende de højeste oliepriser i 2006 (over 70 US\$) som indikator for den samfundsøkonomiske oliepris ville RME i så fald blive betragtet som samfundsøkonomisk omkostningseffektiv.

Følsomhedsanalyserne i næste kapitel illustrerer, hvordan ændringer i de enkelte beregningsparametre påvirker det samlede omkostningsestimater.

### 5.3 Tilsvarende undersøgelser

Europa Kommissionens Well-to-Wheels (WTW) studie estimerer CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne<sup>41</sup> for RME (hvor glycerin sælges som kemikalie) til hhv. 900 kr./ton og 1800 kr./ton ved råoliepriser på hhv. 62 US\$/tønne og 31 US\$/tønne. Hvis man tager et gennemsnit<sup>42</sup> af de to estimater giver det en CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostning på omkring 1250 kr./ton ved en råoliepris på 51 US\$/tønne, som er olieprisen anvendt i nærværende analyse. Til sammenligning er CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen i nærværende analyse 687 kr./ton CO<sub>2</sub> uden indregning af NAF. Beregningerne i CONCAWE et al. (2006) er baseret på et antaget CO<sub>2</sub>-reduktionspotentiale på 1,7 kg CO<sub>2</sub> /liter dieselækvivalent. Til sammenligning tages der i denne rapport udgangspunkt i EM-BIO rapportens estimerede CO<sub>2</sub>-reduktionspotentiale og Emmelevs produktionsdata, hvorved reduktionspotentialet bliver på 2,17 kg CO<sub>2</sub> /liter dieselækvivalent.

<sup>41</sup> Omkostningsberegningerne i CONCAWE et al. (2006) bygger på andre forudsætninger end nærværende analyse. f.eks. regnes der ikke med en nettoafgiftsfaktor.

<sup>42</sup> Gennemsnittet er beregnet ved simpel lineær approksimation.

Dette er en del af begrundelsen for et lavere estimat for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger i denne rapport sammenlignet med WTW studiet.

Hvis der f.eks. i stedet regnes med 1,7 kg CO<sub>2</sub> /liter dieselækvivalent i denne rapports beregningsmodel, giver det en CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostning på 878 kr./ton CO<sub>2</sub> uden indregning af NAF (1100 kr./ton CO<sub>2</sub> inkl. NAF). I afsnit 4.3.1 fremgik det, at der findes LCA-studier med CO<sub>2</sub>-reduktionspotentiale på omkring 2,4 kg CO<sub>2</sub> /liter dieselækvivalent. Anvendes dette estimat i denne rapports beregningsmodel giver det en CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostning på 780 kr./ton CO<sub>2</sub> inkl. NAF.

Rapportens beregninger af produktionsomkostninger er baseret på oplysninger fra den eneste biodieselproducent i Danmark. Det kan derfor diskuteres, hvorvidt de anvendte omkostningsestimater er et generelt udtryk for produktionsomkostningerne for RME. Forskellige internationale studier har estimeret produktionsomkostningerne for RME. Omkostningsestimaterne varierer mellem 2,5 og 4,8 kr./l RME. Til sammenligning ligger produktionsomkostningerne i denne rapport omkring 3,8 kr./l RME. Tabel 5.3 viser estimater for produktionsomkostningerne for RME, som de fremgår af andre studier.

**Tabel 5.3 Estimerede produktionsomkostninger for RME**

Estimerede produktionsomkostninger	Kilde
4,0 kr./l RME	CONCAWE et al. (2006)
2,5 – 4,7 kr./l RME for hhv. lave og høje inputpriser	International Energy Agency (2004)
3,4 – 3,9 kr./l RME	Bozbas (2005)
4,2 kr./l RME	Haas et al. (2005)
3,8 kr./l RME	Denne rapport

NOTE: PRISERNE ER UDEN INDREGNING AF NAF

Produktionsomkostningerne i denne rapport svarer således til resultaterne i tilsvarende analyser.



## 6 Følsomhedsberegninger og sandsynligheder

Til CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen på 860 kr./ton, der som nævnt er det centrale estimat i analysen i denne rapport, knytter der sig en række usikkerheder. I dette afsnit er foretaget en følsomhedsanalyse, samt en vurdering af hvor meget CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne kan variere. Der er også foretaget en analyse af den statistiske sandsynlighed for, at CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne indenfor den angivne tidsperiode ligger under pejlemærket på 180 kr./ton, og dermed gør produktion og anvendelse af RME omkostningseffektiv i Danmark.

### 6.1 Følsomhedsanalyse

#### 6.1.1 Antagelser omkring energiafgrødetilskud mv.

Som omtalt i afsnit 4.6 er værdien af energiafgrødetilskud og muligt fradrag i rapsprisen ikke indregnet i det centrale estimat for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen. Det kan diskuteres, hvorvidt dette er korrekte antagelser.

Konsekvensen for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen ved at inddrage tilskud og fradrag i beregningerne ses af tabel 4.2. I tabellen er CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen vist ved forskellige antagelser for afdragsstørrelser i rapsfrøprisen og, hvor stor en del af rapsarealet, der modtager energiafgrødetilskud eller dyrkes som nonfood afgrøde på brakjord. Ud af det rapsareal, som har forsynet Emmelev Mølles RME produktion i 2005, kan omkring 15 % have været dyrket som "energiafgrøde med tilskud" og 22 % som "nonfood afgrøde"(se bilag 2). En antagelse, om at denne areal-fordeling fortsætter, er angivet under "Alternativ 1", hvor resultatet for lavt og højt afdrag i rapsfrøprisen også er inddraget (hhv. 2 kr./100 kg og 7 kr./100 kg).

"Alternativ 2" beskriver en antagelse om, at halvdelen af rapsfrøene til RME produktionen er 'nonfood raps' og den anden halvdel er 'energiafgrøde raps'. Dette alternativ kan ikke umiddelbart ses som et udtryk for virkelige forhold, men er vist som et eksempel på konsekvensen for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen, ved høje areal-andele af 'nonfood raps' og 'energiafgrøde raps'.

**Tabel 6.1 Ændringer i CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen ved antagelser omkring energiafgrødetilskud.**

	Alternativ 1		Alternativ 2	
	Arealandel med energiafgrøde-raps	15 %		50 %
Arealandel med nonfood-raps	22 %		50 %	
Fradrag pr. 100 kg rapsfrø	2 kr.	7 kr.	2 kr.	7 kr.
CO <sub>2</sub> -reduktionsomkostning, kr./ton CO <sub>2</sub>	830 kr./ton	800 kr./ton	770 kr./ton	700 kr./ton

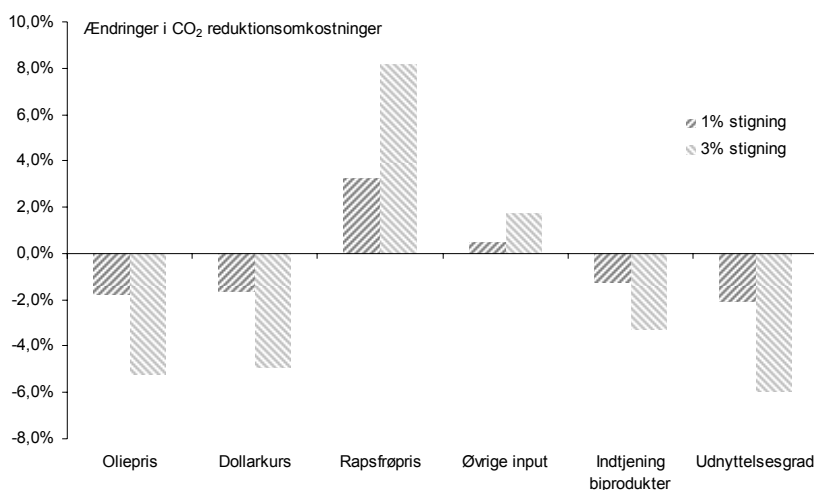
Ovenstående viser, at forskellige antagelser om indregning af energiafgrødetilskud og fradrag i rapsfrøpris vil medføre en lavere CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostning. Dog ændrer disse antagelser ikke ved det grundlæggende resultatet, nemlig at CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen for RME fortsat er relativt høj.

### 6.1.2 Centrale parameterværdier

Følsomhedsanalysen klarlægger, hvilke af de mest centrale beregningsparametre, der har størst indflydelse på omkostningerne ved CO<sub>2</sub>-besparelse.

I figur 6.1 er de individuelle parameterskøn blevet ændret én af gangen med en stigning på hhv. 1 % og 3 %. Den resulterende ændring i de samlede CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger kan således være med til at klarlægge, hvilke parameterændringer de samlede omkostninger er mest følsomme overfor<sup>43</sup>.

**Følsomhedsanalyse af omkostninger ved CO<sub>2</sub>-reduktion**



Figur 6.1. Følsomhedsanalyse af omkostninger ved CO<sub>2</sub>-reduktion ved ændringer i centrale beregningsparametre

<sup>43</sup> Her bør man være opmærksom på, at beregningerne ikke bygger på sandsynlige udfald.

Figur 6.1 viser hvordan CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne er mest følsomme overfor ændringer i hhv. udnyttelsesgraden og rapsfrøprisen. Når rapsfrøprisen stiger med 3 %, stiger CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne med ca. 8 % fra 860 kr./ton til 930 kr./ton. For udnyttelsesgradens vedkommende falder CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne med ca. 6 %, fra 860 kr./ton til 809 kr./ton, når udnyttelsesgraden stiger med 3 % (fra 40,5 % til 41,7 %) <sup>44</sup>.

Tilsvarende viser figur 6.1, at CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne er mindst følsomme overfor ændringer i omkostningerne forbundet med øvrige input, dvs. andre input end rapsfrø. Det ses, at CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne stiger med 1,7 % fra 860 kr./ton til 875 kr./ton, når omkostningerne til øvrige input hæves med 3 %.

Som nævnt i afsnit 4.6 kan man i stedet for at antage at raps potentielt kan handles på et internationalt marked (og at man derfor skal anvende en NAF på 1,25) antage at raps udelukkende handles nationalt. Hvis der anvendes en NAF på 1,17 for raps, ville CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen blive 685 kr./ton CO<sub>2</sub>, hvilket er noget lavere end det centrale estimat på 860 kr./ton.

### 6.1.3 Beregningsparametrenes variation

Det centrale skøn for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne, som præsenteres i kapitel 5, er baseret på skøn for de forskellige parametres forventede gennemsnitsværdier. Ser man på de udsving, der kan være i priserne (historisk set), er der stor variation indenfor de individuelle beregningsparametre, hvilket dermed kan lede til stor variation i de samlede CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger.

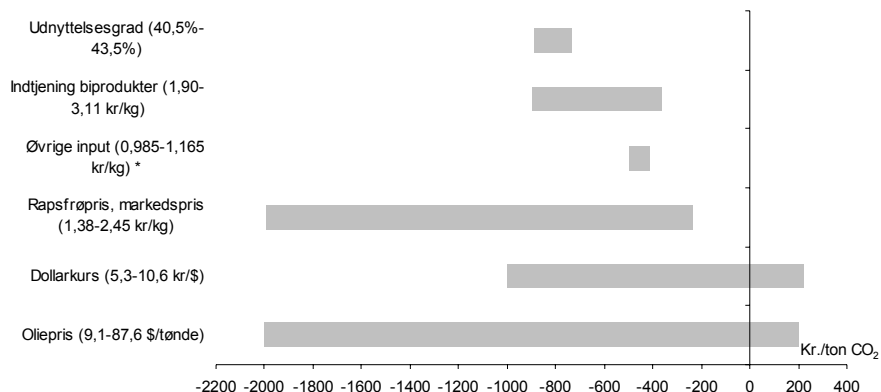
For at illustrere dette er det analyseret, hvordan CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne ændrer sig når hhv. en høj og en lav værdi for de forskellige beregningsparametre benyttes i beregningerne. Figur 6.2 giver et overblik over hvordan CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne varierer, når de højeste og laveste observerede værdier for de betydende beregningsparametre benyttes <sup>45</sup>. Beregningerne er foretaget ved at ændre de aktuelle parametre individuelt, mens de andre er holdt konstant.

---

<sup>44</sup> Det er en forudsætning for denne beregning, at udnyttelsesgraden stiger, uden at de marginale omkostninger herved stiger. Dette er en optimistisk antagelse med den nuværende teknologi (*Personlig korrespondance, Emmelev Mølle (2006)*).

<sup>45</sup> De anvendte perioder for oliepris, dollarkurs og rapsfrøpris fremgår af tabel 6.1. Mht. udnyttelsesgrad er minimumværdi den nuværende på 40,5 % mens maksimum er den hypotetiske udnyttelsesgrad på 43,5 %. For 'indtjening på biprodukter' og 'øvrige input' er anvendt maksimale og minimale observerede værdier for hhv. 2003 og 2006.

**Variation i CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger**



\*Inkl. investeringer, el, naturgas, metanol, kemikalier m.v.

Figur 6.2. Variation i CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger ved anvendelse af observerede ekstremer for centrale beregningsparametre (negative værdier repræsenterer omkostninger)

Figur 6.2 viser, at der kan observeres store udsving i rapsfrøpris, dollarkurs og oliepris, mens disse parametre samtidigt har stor indflydelse på CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen (se figur 6.1). Selvom ændringer i udnyttelsesgraden iflg. figur 6.1 også har stor indflydelse på reduktionsomkostningen, begrænses den samlede effekt af, at udnyttelsesgraden maksimalt kan stige med lidt over 7 %, da den maksimale hypotetiske udnyttelsesgrad ligger på 43,5 %. Ved en udnyttelsesgrad på 43,5 % bliver CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostning omkring 740 kr./ton CO<sub>2</sub>, hvis det antages at de marginale omkostninger er konstante ved stigningen i udnyttelsesgraden.

Figur 6.2 giver imidlertid ingen indikation af, med hvor stor sandsynlighed den givne omkostningsstørrelse vil forekomme indenfor et interval. Disse er derfor belyst gennem Monte Carlo simuleringer.

**6.2 Monte Carlo simulering**

Monte Carlo simulering er et statistisk værktøj som bl.a. bruges til at beregne sandsynligheder for, at en given værdi kan forekomme.

Simuleringerne er foretaget i PC-programmet *Crystal Ball*<sup>46</sup> og for at vurdere med hvor stor sandsynlighed en given CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostning kan forekomme, er der i dette tilfælde foretaget 5000 gennemregninger af mulige udfald for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne. De mulige udfald er bestemt ud fra antagelser omkring

<sup>46</sup> For beskrivelse af programmet, se f.eks. [http://www.decisioneering.com/crystal\\_ball/index.html](http://www.decisioneering.com/crystal_ball/index.html)

de forskellige beregningsparametres statistiske fordeling. De statistiske fordelinger<sup>47</sup> for de forskellige parametre er estimeret ud fra observerede priser (omregnet til faste 2006 priser) på parametrene over en given årrække. Det antages dermed, at den fremtidige årlige variation i parameterværdierne vil have samme variation som i den historiske periode, som parameterværdiernes fordelinger er estimeret på baggrund af. Da dette ikke nødvendigvis vil være tilfældet for de fremtidige priser, skal beregningsresultaterne fortolkes med stor varsomhed.

### 6.2.1 Valg af parametre

Som følge af følsomhedsanalysen i forrige afsnit er parameteren ”øvrige input” ikke med i simuleringen, da den har relativt mindre indflydelse på CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen end de øvrige parametre. Endvidere antages udnyttelsesgraden at være konstant (40,5 %), da der ikke kan estimeres en egentlig fordeling for denne parameter. For ”indtjening på biprodukter” er det valgt kun at se på rapskageprisens variation, da denne har størst indflydelse på CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen.

Monte Carlo simuleringen foretages dermed på parametrene rapspris, oliepris, dollarkurs og rapskagepris. I tabel 6.2 nedenfor er de forskellige parametre angivet med deres estimerede sandsynlighedsfordeling og hvilke observationer, der ligger til grund for fordelingerne.

**Tabel 6.2 Fordelinger og baggrunden for centrale parametre i Monte Carlo simulering af CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger**

Beregningsparameter	Fordeling	Note
Rapsfrøpriser (middelværdi 1,82 kr./kg)	Beta	På baggrund af gennemsnitlige fakturerede månedspriser for perioden 1993* – 2006. KILDE: DANSK LANDBRUG
Råoliepris (middelværdi 51 US\$/td.)	Lognormal	På baggrund af årlige gennemsnitspriser for perioden 1970 – 2006. KILDE: BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY
Dollarkurs (middelværdi 6 kr./US\$)	Gamma	På baggrund af årlige gennemsnitskurser for perioden 1970 – 2006. KILDE: DANMARKS STATISTIK
Rapskagepris (middelværdi 0,68 kr./kg)	Trekant	Fordelingen er estimeret ud fra månedsprisen på sojaskrå (1993 – 2006), som er en nær substitut til rapskage og med en høj korrelationsfaktor (se tabel 6.2). KILDE: DANSK LANDBRUG

\* PERIODEN FØR 1993 ER BEVIDST FRAVALGT, DA DER I 1992 BLEV INDFØRT EN EU LANDBRUGSREFORM, DER I STORE TRÆK FJERNEDE PRISSTØTTEN PÅ RAPSFRØ MED RELATIV STOR INDFLYDELSE PÅ PRISERNE.

<sup>47</sup> Sandsynlighedsfordelingerne er i PC-programmet bestemt ved hjælp af en *Anderson-Darling Test*.

### 6.2.2 Korrelation

For at undersøge om der er korrelation mellem de forskellige parametre, er der foretaget en test<sup>48</sup> herfor, og resultatet fremgår af tabel 6.2.

**Tabel 6.2 Korrelation mellem parametre**

Parametre sammenlignet	Korrelation	Data-perioder
Rapsfrøpris – oliepris	0,12	1993-2006
Dollarkurs – oliepris	-0,14	1970-2004
Rapsfrøpris – rapskagepris	0,71	2001-2006
Rapsfrøpris – sojaskråpris	0,58	1993-2006
Rapskagepris – sojaskråpris	1,00	2001-2006

NOTE: PRISERNE I PERIODERNE ER OPGJORT I FASTE 2006 PRISER. PERIODERNES LÆNGDE AFHÆNGER AF TILGÆNGELIGT DATAMATERIALE.

Tabellen viser, at der ikke er nogen nævneværdig korrelation mellem hverken oliepris og rapsfrøpris eller mellem dollarkurs og oliepris<sup>49</sup>. Der er en vis korrelation mellem rapsfrø og rapskage (0,71), men denne er estimeret for den korte periode 2001-2006. Da der findes data for perioden 1993-2006 for sojaskrå, der er en nær substitut til rapskage, og som derfor anvendes til at estimere fordelingen for rapskageprisen, anvendes korrelationsfaktoren mellem rapsfrø og sojaskrå (0,58) i Monte Carlo analysens beregninger. Den høje korrelation (1,00) mellem rapskage og sojaskrå begrundes anvendelsen af sojaskråpriser til at estimere en sandsynlighedsfordeling for rapskagepriser.<sup>50</sup>

### 6.2.3 Resultater

Med Monte Carlo simuleringen er det muligt at estimere sandsynligheden for, at CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen ligger indenfor et givent interval eller er større eller mindre end et givent niveau. Som det er anført i kapitel 5, er det centrale estimat for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne på 860 kr./ton et estimat, som er forbundet med en

<sup>48</sup> Der er anvendt en test baseret på rangordning "rank correlation" i PC-programmet 'Crystal Ball'.

<sup>49</sup> Kørsel af Monte Carlo analysen med de pågældende korrelationskoefficienter for rapsfrø, råolie og dollarkurs har ikke nogen indflydelse på resultatet.

<sup>50</sup> Indregning af korrelationskoefficienter betyder i øvrigt meget lidt for resultatet af Monte Carlo analysen. Hvis der antages ikke at være korrelation mellem parametrene, ændres sandsynligheden for at reduktionsomkostningen er mindre end kvoteprisen (på 180 kr./ton) fra 15 til 17 % (se afsnit 6.2.3).

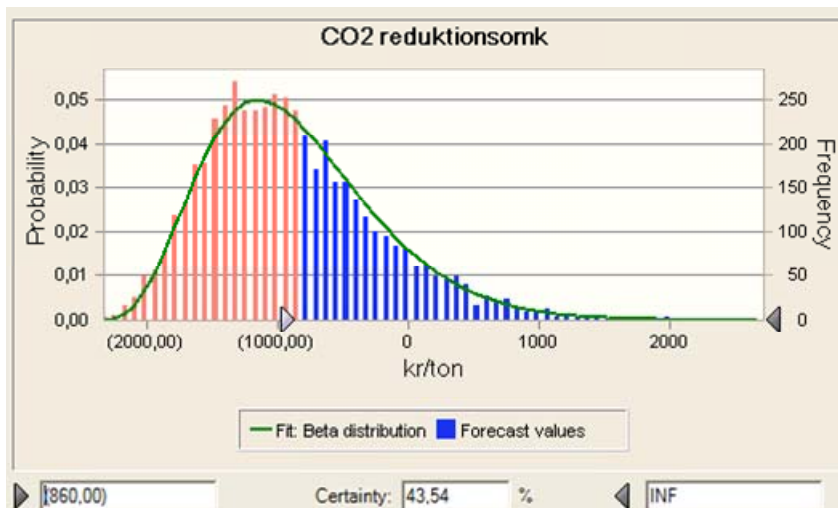
lang række usikkerheder. Denne pris er – ligesom for priserne på parametrene i beregningerne – et udtryk for den forventede gennemsnitspris over de næste 20 år (i faste priser) med den information vi i dag har til rådighed. Denne information er ufuldstændig, da vi i sagens natur ikke kender de sande fremtidige værdier af de enkelte parametre.

Et logisk og ofte anvendt udgangspunkt for at estimere realistiske usikkerhedsintervaller for de enkelte parametre, er at se på hvilken variation, der har været i de enkelte beregningsparametre over en historisk periode. I Monte Carlo analysen har vi derfor taget udgangspunkt i de centrale forudsætninger for de enkelte beregningsparametre (som beskrevet i tabel 4.1). Det er endvidere antaget, at den fremtidige årlige variation i parameterværdierne vil have samme variation, som i den historiske periode som parameterværdierne fordelinger er estimeret på baggrund af.

Resultatet af Monte Carlo analysen skal derfor ses som et udtryk for den samlede usikkerhed forbundet med det centrale estimat for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne over de næste 20 år under de angivne realistiske forudsætninger for usikkerheden i de enkelte parametre.

Figur 6.3 illustrerer sandsynligheden for, at CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne ligger på eller under det centrale estimat. Figuren viser, at der er ca. 45 % sandsynlighed for at CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne er mindre end det centrale estimat på 860 kr./ton.

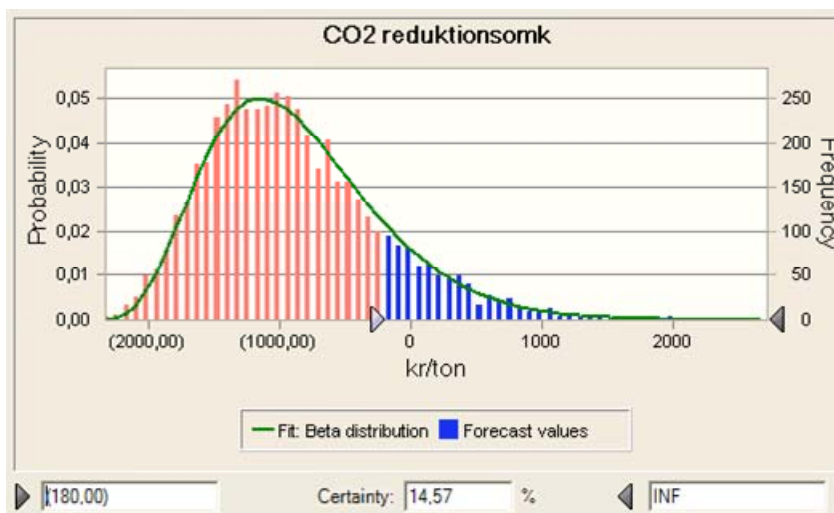
**Illustration af Monte Carlo simulering**



Figur 6.3. Resultat af Monte Carlo simulering: Sandsynligheden for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostning under centralt estimat på 860 kr./ton (negative værdier repræsenterer omkostninger)

Figur 6.4 viser, med hvor stor sandsynlighed anvendelsen af RME er et omkostningseffektivt middel til CO<sub>2</sub>-reduktion i forhold til CO<sub>2</sub>-kvoter. Med de givne fordelingsantagelser er der omkring 15 % sandsynlighed for, at CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne er mindre end pejlemærket på 180 kroner.

**Illustration af Monte Carlo simulering**



Figur 6.4. Resultat af Monte Carlo simulering: Sandsynligheden for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger under 180 kr./ton (negative værdier repræsenterer omkostninger)

For de tre olieprisscenarier er der i tabel 6.3 vist sandsynlighederne for at reduktionsomkostningerne er mindre end hhv. 'det centrale estimat' (860 kr.) og kvotepriisen (180 kr.), samt sandsynligheden for en reduktionsomkostning på nul. Resultatet af udnyttelsesgradens indflydelse er angivet under olieprisen 'basisscenarie', hvor førnævnte sandsynligheder er beregnet for en høj og en lav udnyttelsesgrad. Udnyttelsesgraden ser imidlertid ikke ud til at have den store indvirkning på resultatet.

**Tabel 6.3 Monte Carlo beregninger for forskellige scenarier.**

Sandsynligheden for at:	Basisscenarie råolie Udnyttelsesgrad		Højprisscenarie råolie	Lavprisscenarie råolie
	40,5%	43,5%		
Red.omk. under centralt estimat	45%	45%	46%	42%
Red.omk. under kvotepris	15%	18,0%	43%	6%
Red.omk. =0	10%	12,0%	35%	4%
Centralt estimat, kr./ton CO <sub>2</sub>	860	740	220	1.200

Resultatet af følsomheds- og Monte Carlo beregningerne indikerer således, at RME produktion i Danmark ikke er et specielt omkostningseffektivt middel til CO<sub>2</sub>-reduktion. Med "indikerer" mener vi, at analysen viser, at der dog er en 15 % sand-



synlighed for at RME er omkostningseffektiv til CO<sub>2</sub>-reduktion. Det skal endvidere gentages at andre miljøforhold end CO<sub>2</sub>-emission og f.eks. forsyningssikkerhed ikke er inddraget i analysen, da der er tale om en omkostningseffektivitets-analyse af CO<sub>2</sub>-reduktion.

## 7 Diskussion

### 7.1 Omkostningseffektiv CO<sub>2</sub>-reduktion

Med de ændrede beregningsforudsætninger og det deraf højere estimat for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne i forhold til Energistyrelsens rapport fra 2003, kan det konkluderes, at RME efter alt at dømmes fortsat ikke er et omkostningseffektivt middel til CO<sub>2</sub>-reduktion, til trods for den mere effektive råvareudnyttelse og den højere oliepris. Årsagen skal primært findes i de højere omkostninger til råvareinput (rapsfrø), som udgør omkring 85 % af de samlede inputomkostninger.

Usikkerhederne forbundet med det centrale estimat anskueliggøres af Monte Carlo simuleringerne. Simuleringerne viser, at CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne med 15 % sandsynlighed kan være lavere end pejlemærket på 180 kr./ton under basis-scenariet for olieprisen. Dette skal imidlertid ses i lyset af de benyttede beregningsforudsætninger og de givne fordelingsantagelser på beregningsparametrene.

Det er imidlertid vigtigt at bemærke, at der her er tale om en diskussion af omkostningseffektiviteten af CO<sub>2</sub>-besparelser med dansk produceret 1. generations biodiesel, sammenlignet med f.eks. køb af kvoter og/eller biobrændsel såsom halm og savsmuld til kraft-varmeværker. Der er altså ikke tale om en vurdering af, hvorvidt biobrændstoffer samlet set er en omkostningseffektiv løsning med hensyn til CO<sub>2</sub>-reduktion, men kun hvorvidt dansk produceret 1. generations biodiesel er det.

De forskellige energipolitiske initiativer, som er taget på biobrændstofområdet i EU og andre steder, handler ikke så meget om, hvorvidt man skal anvende biobrændstoffer eller ej, men snarere om hvilke typer biobrændstoffer det vil være relevant at satse på. I den forbindelse er det nærliggende at antage, at konklusionen i denne rapport stadig gør sig gældende: dansk produceret 1. generations biodiesel baseret på raps er ikke den mest omkostningseffektive måde at spare CO<sub>2</sub> på. Med de i Danmark gældende råvarepriser og alternativomkostninger ved biodieselproduktionen, kan det være mere omkostningseffektivt at importere 1. generations biobrændstoffer fra billigere producenter andre steder i verden. Alternativt kan der være mening i at satse på 2. generationsbrændstofferne – dette bør dog analyseres nærmere, før endelige konklusioner kan drages herom.

Endeligt er det vigtigt at betragte CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne som et supplement til andre former for vurderinger af et givet tiltag, givet de nævnte usikkerheder. For eksempel er CO<sub>2</sub>-reduktion kun ét ud af en række målsætninger, som fremhæves i EU's biobrændstofstrategi (Commission of the European Communities 2006). Det vil derfor være relevant at supplere estimer for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger med

vurderinger af bl.a. forsyningssikkerhed og økonomisk vækst, før man træffer en endelig beslutning om anvendelse af dansk-produceret RME i den danske transportsektor.

## 7.2 Forsyningssikkerhed

Ud over CO<sub>2</sub>-reduktion, fremhæves forsyningssikkerhed ofte som et argument for anvendelsen af biobrændstoffer til transport. Rationalet er, at en øget anvendelse af biomasse til brændstof vil mindske den risiko, der er knyttet til at være afhængig af relativt få olieproducerende lande – især risikoen for uventede høje prisstigninger/-udsving. Forsyningssikkerhed handler derfor også om prissikkerheden på brændstof. I den sammenhæng er biobrændstoffer attraktive, da den nødvendige biomasse kan produceres i de fleste af jordens klimazoner som en fornybar ressource. Dermed kan afhængigheden af bestemte forsyningskanaler mindskes.

Det er dog endnu usikkert, hvorvidt produktionspotentialet for biobrændstoffer kan opfylde det globale behov. Hvordan prisdannelsen på biobrændstoffer vil udvikle sig er også uvist, og generelt er de fulde samfundsøkonomiske konsekvenser af forsyningssikkerhedsspørgsmålet – herunder værdien heraf – endnu ikke belyst.

Når man diskuterer forsyningssikkerhed, er det vigtigt at skelne mellem *forsyningssikkerhed* og *selvforsyningsgrad*. Selvforsyningsgraden er andelen af biobrændstofforbruget, der kan produceres i Danmark. Hvis danske producenter af biodiesel ikke kan konkurrere med udlandet på biodieselpriisen, vil en hjemmeproduktion af biodiesel være forbundet med unødvendige omkostninger for samfundet.

## 7.3 Økonomisk vækst

Ud over CO<sub>2</sub>-reduktion og forsyningssikkerhed, fremhæves mulighederne for økonomisk vækst og jobskabelse, specielt i landområder, som et argument for fremme af biobrændstoffer til transport. I den sammenhæng er der forskellige muligheder for økonomisk vækst, som kan diskuteres. En mulighed er relateret til produktion og salg af biobrændstoffer, mens en anden er relateret til forskning, udvikling og eksport af teknologi samt knowhow til producenter andre steder i verden.

I forhold til øget beskæftigelse som følge af øget biomasseproduktion konkluderer Abildtrup et al. (2006), at dette kun vil finde sted i det omfang, der produceres energiafgrøder på produktive arealer, som ikke allerede er i omdrift. En stigning i råvarepriser kan betyde øget indtjening for den enkelte landmand, mens konstruktion og daglig drift af produktionsenheder kan have positiv indvirkning på beskæftigelsen. Det er imidlertid kun i det omfang, at arbejdskraften ikke tages fra andre

steder, at der fra et samfundsperspektiv vil være tale om en reelt øget beskæftigelse.

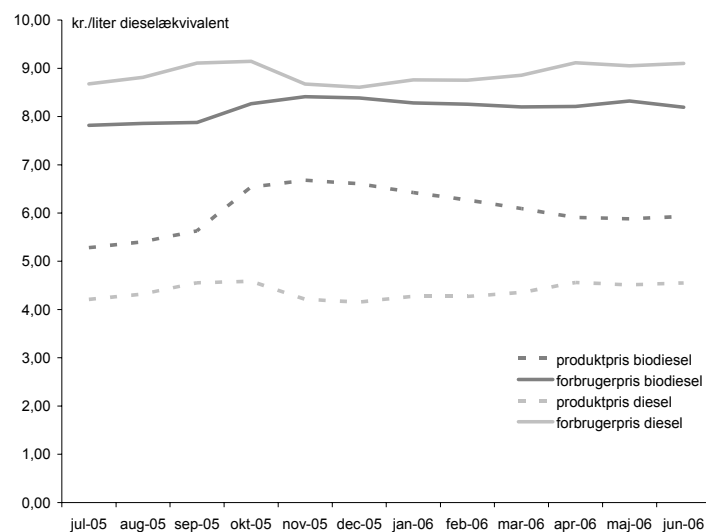
Potentialet for økonomisk vækst, som følge af en dansk biodieselproduktion, skal ses i lyset af danske producenters evne til at konkurrere med producenter i andre dele af verden.

### 7.4 Alternative beregningsmetoder

Beregningen af CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne for RME tager i denne rapport udgangspunkt i, hvad det koster at producere RME, dvs. produktionsprisen. Til en samfundsøkonomisk vurdering kan prisen, eller faktorindkomsten, som producenten får ved salg af produktionsfaktoren alternativt anvendes som beregningspris (Energistyrelsen 2005; Møller et al. 2000). Dette gælder imidlertid kun så længe, der er fuldkommen konkurrence på markedet for det pågældende gode, og at ingen goder er subsidierede eller pålagt afgifter (Møller et al. 2000). Siden Energistyrelsen lavede beregninger af CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger i 2003 har markedet for biodiesel udviklet sig i en række EU lande, hvoraf det tyske marked er blandt de største (Bozbas 2005).

Den Tyske organisation for biodieselproducenter, Union zu Förderung von Oel- und Proteinpflanzen (UFOP), har månedlige opgørelser over dels produktprisen og dels forbrugerprisen på hhv. biodiesel og fossil diesel i Tyskland. Forbrugerprisen er den pris, som forbrugeren betaler på tankstationen. Den indbefatter produktionsomkostninger, avance samt skatter og afgifter. Figur 7.1 illustrerer udviklingen i produktpriser og forbrugerpriser i Tyskland fra juli 2005 til juni 2006.

Tyske priser på diesel og biodiesel



Figur 7.1. Tyske forbruger- og produktpriser for diesel og biodiesel (juli 2005 til juni 2006)

KILDE: UFOP, 2006

Ud fra en samfundsøkonomisk betragtning kan man argumentere for anvendelse af den noterede tyske produktpris for biodiesel som beregningspris til fastsættelse af CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne. Den gennemsnitlige produktpris for biodiesel i Tyskland for den noterede periode juli 2005 til juni 2006 var omkring 6 kr./l diesel-ækvivalent, og den gennemsnitlige produktpris for fossil diesel i samme periode var omkring 4,4 kr./liter i Danmark. Regner man med et CO<sub>2</sub>-reduktionspotentiale på 2,17 kg/l, svarer det til en CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostning for biodiesel på omkring 940 kr./ton korrigeret for brændværdi og NAF. Dette estimat, som bygger på markedspriser for en kort periode, kan ikke umiddelbart sammenlignes med det centrale estimat for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen på 860 kr./ton, som er beregnet på forventede priser over investeringshorisonten på 20 år.

For – til en vis grad – at kunne sammenligne med det centrale estimat, kan dette imidlertid beregnes på baggrund af de priser (for raps, olie og dollar), der var gældende for perioden, som den alternative beregning bygger på (juli 2005 til juni 2006)<sup>51</sup>. Med disse priser bliver det centrale estimat en omkostning på lidt over 200 kr./ton CO<sub>2</sub>. Der er således stor forskel på resultatet ved at anvende markedsprisen eller produktionsomkostningerne for biodiesel til at beregne CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen. Årsager til denne forskel kan være, at det i praksis er svært at sikre sig, at alle omkostninger er med i beregningerne, samt at marginalomkostningerne (som er de relevante) kan være højere end gennemsnitomkostningerne (som man typisk måler i praksis). Endvidere kan der være tale om, at der ikke er fuldkommen konkurrence på biodieselmarkedet, f.eks. pga. subsidier, reguleringer, osv.

Biodiesel på det tyske marked er f.eks. fuldstændig fritaget for skatter og afgifter. Effekten heraf ses på figur 7.1, hvor den gennemsnitlige salgspris for biodiesel ligger omkring 70 øre under salgsprisen for diesel, selvom den gennemsnitlige produktpris for biodiesel er omkring 1,50 kroner højere end produktprisen for diesel. Man kan argumentere, at afgifterne på diesel er med til at afspejle den samfundsmæssige effekt af brugen af diesel, som ikke er indregnet i forbrugerprisen. Omvendt kan forskellen i afgifter og dermed købspris på de to typer brændstof være med til påvirke prisdannelsen på biodiesel i Tyskland.

Markedsbetingelserne for biodiesel er med andre ord ikke de samme, når man sælger biodiesel i Tyskland, og når man sælger det i f.eks. Danmark. Møller et al.

---

<sup>51</sup> Gennemsnitspriserne var i denne periode for olie 62 US\$, rapsfrø 1,62 kr./kg (ekskl. NAF) og dollarkursen var 614 kr./100 US\$.

(2000) argumenterer, at kun prisdannelsen på et ureguleret marked kan danne grundlag for samfundsøkonomiske beregningspriser.

### 7.5 Hvordan ser fremtiden ud?

Som anført i kapitel 6 er CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne meget følsom overfor ændringer i rapsfrøprisen og olieprisen. Det betyder, at ændringer på specielt disse parametre kan have stor betydning for omkostningseffektiviteten af RME som middel til CO<sub>2</sub>-reduktion. Der kan argumenteres for, at med en stigende efterspørgsel efter biobrændstoffer kan dette være med til at presse prisen på råvarer i vejret.

Det skal her bemærkes, at raps er et internationalt handlet gode, som det er relativt billigt at transportere. Endvidere har rapsolie nære substitutter i form af vegetabiliske olier fra andre olieplanter. Endelig konkurrerer olieafgrøder med andre afgrøder om landbrugsjord de fleste steder i verden. Dvs. at en (vedvarende) stigning i jordrenten ved dyrkning af oliefrø vil trække landbrugsarealer ind i denne produktion, indtil der opnås en ny ligevægt i arealfordelingen mellem afgrøder på et generelt højere prisniveau for landbrugsprodukter. Dette betyder, at der skal ske internationale ændringer i udbud og efterspørgsel, før en vedvarende stigning i rapsprisen kan forventes. En globalt stigende efterspørgsel efter biobrændstoffer kan gøre CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne for biodiesel højere, end de er i dag.

Omvendt er det realistisk at forestille sig en teknologisk udvikling, der betyder en mere effektiv råvareudnyttelse, hvis priserne for raps/oliefrø stiger. En sådan teknologiudvikling vil være med til at gøre CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne for RME lavere, end de er i dag. Det kan altså tænkes, at en stigende efterspørgsel, med deraf følgende stigninger i råvareprisen, kan stimulere den teknologiske innovation i en mere omkostningseffektiv retning. Eksempler herpå kan allerede ses i form af forskning og udvikling af 2. generations biobrændstoffer baseret på restprodukter, hvor procesteknologien kan være dyrere, men opvejes af den lave råvarepris, som følge af, at råvaren har mindre værdi i alternativ anvendelse.

## 8 Konklusion

Nedenstående konklusioner er draget i henhold til de specifikke formål med rapporten, som var:

1. at opdatere Energistyrelsens beregninger fra 2003 af omkostningen ved CO<sub>2</sub>-reduktion ved at anvende dansk produceret biodiesel baseret på rapsfrø, og
2. at belyse usikkerhederne forbundet med fastsættelse af CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne for RME.

### 8.1 CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne for RME

Ved at anvende Energistyrelsens beregningsmodel, og justere denne for ændrede beregningsforudsætninger, er det centrale estimat for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger for dansk produceret RME 860 kr./ton CO<sub>2</sub>. Dermed er anvendelsen af dansk produceret 1. generation biodiesel baseret på raps (RME) fortsat en dyr måde at reducere CO<sub>2</sub> på – og ikke omkostningseffektivt sammenlignet med køb af CO<sub>2</sub>-kvoter i udlandet.

I forhold til Energistyrelsens beregninger fra 2003 er der anvendt højere beregningspriser for bl.a. rapsfrøpris og råoliepris. Øvrige inputomkostninger til RME-produktionen er endvidere justeret til 2006 niveau, og udnyttelsesgraden er forudsat steget fra 36,7 % til 40,5 %. Derudover er anvendt en lavere beregningspris for rapskager, som er et biprodukt fra RME-produktionen. Da rapsfrøprisen udgør 85 % af inputomkostningerne i RME-produktionen, er det fortrinsvist ændringen i rapsfrøprisen, der har haft indflydelse på rapportens centrale estimat.

Ud fra Europa Kommissionens Well-to-Wheels studie (CONCAWE et al. 2006) kan CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen være på omkring 1250 kr./ton (ekskl. NAF) ved en råoliepris på 51 US\$/tønne. Dette er baseret på et antaget CO<sub>2</sub>-reduktionspotentiale på 1,7 kg CO<sub>2</sub>/liter dieselækvivalent. Til sammenligning tages der i denne rapport udgangspunkt i et reduktionspotentiale på 2,17 kg CO<sub>2</sub>/liter dieselækvivalent. Dette kan være med til at begrunde et lavere estimat for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger i nærværende rapport sammenlignet med WTW studiet.

Forskellige internationale studier har estimeret produktionsomkostningerne for RME. Omkostningsestimaterne varierer mellem 2,50 og 4,70 kr./l RME. Til sammenligning ligger produktionsomkostningerne i denne rapport omkring 3,80 kr./l., hvilket derfor ikke er afvigende fra andre analysers resultater.

## 8.2 Usikkerheder ved beregning af CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger

Der er stor usikkerhed forbundet med det centrale estimat for CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne for dansk produceret RME. Følsomhedsberegningerne viser stor følsomhed overfor især ændringer i rapsfrøpris og udnyttelsesgrad. Der er endvidere mulighed for store variationer indenfor de enkelte beregningsparametre, hvilket betyder mulige store variationer i de samlede CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostninger.

Endvidere viser Monte Carlo simuleringer, at der med de givne beregningsforudsætninger er ca. 15 % sandsynlighed for, at CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne vil være mindre end pejlemærket på 180 kr./ton.

## 8.3 Perspektiver i anvendelsen af RME i Danmark

CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningerne kan være med til at belyse, hvorvidt anvendelsen af dansk produceret RME i Danmark er en omkostningseffektiv løsning på spørgsmålet om CO<sub>2</sub>-reduktion. Ud over CO<sub>2</sub>-reduktion bliver både argumenter for forsyningssikkerhed og økonomisk vækst brugt i diskussionerne omkring anvendelsen af biodiesel. En vurdering af disse aspekter af biodieselanvendelsen bør belyses, før man træffer beslutning om biodieselanvendelse i Danmark.



## Tak

Forfatterne vil især gerne takke Emmelev Mølle og Landbrugets Rådgivningscenter for at have hjulpet med data til rapporten og som diskussionspartnere.

Endvidere skal Morten Gylling, Jens Abildtrup og Alex Dubgaard fra Fødevareøkonomisk Institut, samt Jesper Munksgaard fra AKF have tak for at have læst og kommenteret et udkast til rapporten som led i IMV's kvalitetssikringsprocedure. Der rettes tilsvarende en tak til rapportens anonyme reviewere.

Institut for Miljøvurdering bærer det fulde ansvar for rapportens indhold.

## Litteraturliste

- Abildtrup, J., Dubgaard, A., Andersen, K. S. 2006 *Case Study Paper: Support to organic farming and bio-energy as rural development drivers*. Paper prepared for "Green Roads to Growth Forum", Copenhagen, March 1-2, 2006 Environmental Assessment Institute.
- Acroumanis, C. 2000 *Technical Study on Fuels Technology related to the Auto-Oil II Programme*. Report Final Vol II: Alternative Fuels. Directorate-General for Energy, European Commission.
- Beer, T., Grant, T., Lapszewicz, J., Anyon, P., Edwards, J., Nelson, P., Watson, H., Williams, D. 2002 *Comparison of Transport Fuels*. EV45A/2/F3C. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO).
- Bozbas, K. 2005 *Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union*.
- Bugge, J. 2000 *Anvendelighed af rapporten EMBIO som grundlag til vurdering af biodiesel og*. Nordvestjydsk Folkecenter for vedvarende energi.
- Canakci, M., Erdil, A., Arcaklioglu, E. 2006 Performance and exhaust emissions of a biodiesel engine. *Applied Energy* 83:594-605.
- Commission of the European Communities 2004 *Second national report on the implementation of Directive 2003/30/EC of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport*. Commission of the European Communities.
- Commission of the European Communities 2006 *An EU Strategy for Biofuels*. Communication from the Commission COM(2006) 34 final. Commission of the European Communities.
- CONCAWE, EUCAR, European Commission DG Joint Research Centre 2006 *Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context*. Well-to-Wheels Report version 2b. European Commission DG Joint Research Centre. <http://ies.jrc.ec.europa.eu/WTW>
- Energistyrelsen 1997 *EMBio Energistyrelsens Model til økonomisk og miljømæssig vurdering af BIObrændstoffer*. Energistyrelsen.
- Energistyrelsen 2003 *Dokumentation for beregning af CO<sub>2</sub>-reduktionsomkostningen ved anvendelse af biodiesel - revideret udgave*. Økonomi- og Erhvervsministeriet.
- Energistyrelsen 2005 *Vejledning i samfundsøkonomiske analyser på energiområdet*. Energistyrelsen.
- Energistyrelsen 2006 *Appendiks: Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet*. Energistyrelsen. [www.ens.dk](http://www.ens.dk)
- Engine Manufacturers Association 2003 *Technical statement on the use of biodiesel fuel in compression ignition engines*. Engine Manufacturers Association.
- Engine Manufacturers Association 2006 *Test Specifications for Biodiesel Fuel*. Engine Manufacturers Association.

- Europa-Parlamentet 2003 *Europa-parlamentets og rådets direktiv 2003/30/EF af 8. maj 2003 om fremme af anvendelsen af biobrændstoffer og andre fornyelige brændstoffer til transport.*
- Finansministeriet, Miljøministeriet, Skatteministeriet, Udenrigsministeriet, Økonomi- og Erhvervsministeriet 2003 *En omkostningseffektiv klimastrategi.* Finansministeriet.
- Haas, M. J., McAloon, A. J., Yee, W. C., Foglia, T. A. 2005 *A process model to estimate biodiesel production costs.*
- Hanley, N. & Spash, C. L. 1993 *Cost-Benefit Analysis and the Environment.* Cheltenham, UK. Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing Company.
- Haupt, J. & Bockey, D. 2006 *Running vehicles successfully on bio-diesel - Product quality requirements for FAME.* Bio-Diesel Quality Management Work Group.
- International Energy Agency 2004 *Biofuels for Transport - An International Perspective.* OECD.
- International Energy Agency 2006 *World Energy Outlook 2006.* OECD/IEA. [www.iea.org](http://www.iea.org)
- Møller, F., Andersen, P., Grau, P., Huusom, H., Madsen, T., Nielsen, J., Strandmark, L. 2000 *Samfundsøkonomisk vurdering af miljøprojekter.* Danmarks Miljøundersøgelser; Miljøstyrelsen; Skov- og Naturstyrelsen. <http://www.dmu.dk>
- Økonomi- og Erhvervsministeriet, Finansministeriet, Fødevareministeriet, Miljøministeriet, Skatteministeriet, Trafikministeriet 2004 *Redegørelse om implementering af EU's biobrændstofdirektiv.*
- Oliebranchen i Danmark 2006 *Hvorfor koster autodiesel 8,73 kr. pr. liter.* Oliebranchen i Danmark.
- Reinhardt, G. A. & Gärtner, S. O. 2003 *Life Cycle Assessment of Biodiesel: Update and New Aspects.* Ifeu - Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg GMBH. [www.ifeu.org](http://www.ifeu.org)
- Skøtt, T. 2006 Daka er parat til at producere biodiesel. *Dansk Bioenergi* 16. Årgang(86):12-13.
- SRU 2005 *Reducing CO<sub>2</sub> Emissions from Cars.* Germany Advisory Council of the Environment.
- Transport og Energiministeriet 2005 *Notat. Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2003/30/EF af 8. maj 2003 om fremme af anvendelsen af biobrændstoffer og andre fornyelige brændstoffer til transport.*
- Transport- og Energiministeriet 2006 *200 mio. kr. til udvikling af biobrændstoffer.*
- Zhang, X., Peterson, C. S., Reece, D., Möller, G., Haws, R. 1995 *Biodegradability of Biodiesel in the Aquatic Environment.* Paper no. 956742. American Society of Agricultural Engineers.

## Bilag

### Bilag 1a: Modelkomponent til beregningsprisen for fossil diesel

Forudsætninger i denne beregning		
	IMV	
Brent / Rdam cif	<b>51,00</b>	US\$/td
US\$ kurs / DKK	<b>600</b>	
1 barrel er lig	<b>159</b>	l
råolie brændværdi	<b>36,70</b>	GJ / 1000 l
transport til DK	<b>0,00</b>	kr./ 1000 l
NAF tillæg	<b>25%</b>	

<b>RÅOLIE</b>		
Brent / Rdam cif	US\$/barrel	51,00
Brent / Rdam cif	US\$/1000 l	320,75
Brent / Rdam cif	DKK/1000 l	1.963,23
Transport til DK		0,00
Brent/ DK cif	DKK/1000 l	1.963,23
Brent/ DK cif	<b>DKK/GJ</b>	<b>53,49</b>
<b>DIESEL</b>		
Råolie / DK fob	DKK/1000 l	1.963,23
Raffinering 29,96% *)		608,29
Håndtering mv *)		0,00
Diesel ab depot	DKK/1000 l	2.571,52
Diesel ab depot	DKK/l	2,572
*) raffinering, håndtering mv i henhold til ENS		
Beregnet samfundsøkonomisk pris på dieselolie		2,572
NettoAfgiftsFaktor tillæg		0,643
Samfundsøkonomisk dieseloliepris, kr./liter (incl NAF)		<b>3,215</b>

**Bilag 1b: Modelkomponent til beregningsprisen for RME**

	NAF	BIO DIESEL	
		Kg CO <sub>2</sub> /	Kr./
		kg biodiesel	kg biodiesel
Investeringer	124	0,007	0,248
energi, el	125	0,227	0,017
energi, naturgas	125	0,002	0,028
rapsfrø	125	0,879	6,159
methanol	125	0,289	0,301
kemikalier	125	0,003	0,051
andre omkostninger	125	0	0,494
<b>Input</b>		<b>1407</b>	<b>7,298</b>
rapskage	125	-0,559	-1,301
glycerin	125	-0,042	-0,574
andet output	125	-0,013	-0,113
<b>Output, biprodukter</b>		<b>-0,614</b>	<b>-1,988</b>
<b>CO<sub>2</sub> biodiesel</b>		<b>0,793</b>	<b>5,310</b>
Korrektioner :		Kg CO <sub>2</sub> /	Kr./
		l biodiesel	l biodiesel
Korrigeret for vægtfylde		0,702	4,700
Korrigeret for brændværdi *)	92,5	0,759	5,081
		<b>FOSSIL DIESEL</b>	
direkte CO <sub>2</sub> indhold		2,700	0,000
fremstilling		0,230	0,000
<b>CO<sub>2</sub> fossil diesel</b>		<b>2,930</b>	<b>3,215</b>
<b>CO<sub>2</sub> besparelse</b>		<b>2,228</b>	<b>1485</b>
korrigeret brændværdi		2,171	1866
Samfundsøkonomisk reduktionsomk., kr/ton CO <sub>2</sub>		0,00	<b>(860,00)</b>
Samfundsøkonomisk raps pris :			
( kr/kg frø - leveret )			
incl NAF	1,25		2,395
kr/ liter BIO			5,44
kr/ kg BIO			6,159

## Bilag 2: Rapsareal og RME-potentiale

### Areal i Danmark

I 2005 blev der dyrket raps på 110.000 ha<sup>52</sup>. Heraf blev 24.000 ha eller 22 % dyrket med nonfood raps, dvs. på udtagne/braklagte arealer, og 17.000 ha<sup>53</sup> (15 %) dyrket som energiafgrøde med tilskud. Det danske rapsudbytte lå på 340.000 tons raps med et gennemsnitligt udbytte på 3.060 kg/ha<sup>54</sup>. Fra 2000-2005 var det gennemsnitlige rapsudbytte 3.070 kg/ha<sup>55</sup>.

Med en udvinding af rapsolie på 40,5 % af rapsfrøes vægt<sup>56</sup>, med en vægtfylde for RME på 0,883 kg/l og en RME-andel af olien på 96 % giver 1 kg rapsfrø ca. 0,44 l RME<sup>57</sup>. Ved et rapsudbytte på 3.070 kg/ha medfører dette et udbytte på 1.193 kg (1.351 liter) RME pr. ha. Det betyder, at Emmelev Møllens 2005 produktion på 80.000 tons RME i princippet skulle have aftaget raps fra et areal på omkring 67.000 ha, hvilket svarer til 61 % af det samlede rapsareal i Danmark i 2005. Ud af de 67.000 ha foregår rapsdyrkningen på maksimalt 24.000 ha udtagne/braklagte arealer og maksimalt 17.000 ha dyrkes specifikt som energiafgrøde med tilskud. Dvs. at maksimalt 60 % af rapsproduktionen til RME dyrkes i kategorierne "nonfood på udtagne/braklagte arealer" eller "energiafgrøde med tilskud"<sup>58</sup>. Mindst 40 % af rapsen til produktionen af RME bliver således produceret uden for de to kategorier på almindelige arealer<sup>59</sup>.

---

<sup>52</sup> Kilde: [www.statistikbanken.dk](http://www.statistikbanken.dk)

<sup>53</sup> Kilde: Personlig korrespondance, Direktoratet for Fødevareerhverv (2006)

<sup>54</sup> Kilde: Danmarks Statistik, Statistikbanken

<sup>55</sup> Dette udbytte stemmer godt overens med beregninger på baggrund af udbytter fra Landbrugets Budgetkalkuler 2006 og ud fra en arealfordeling på hhv. 2 % vårraps på JB 1-3, 39 % vinterraps på JB 1-3 og 59 % vinterraps på JB 5-6. Rapsudbyttet bliver på denne baggrund på 3.055 kg/ha.

<sup>56</sup> Ved et gennemsnitligt olieindhold i Rapsfrø på 44 pct. målt på vægtbasis.

<sup>57</sup> Kilde: Personlig korrespondance, Emmelev Mølle (2006)

<sup>58</sup> En del af denne raps må antages at gå til andre aftagere end Emmelev Mølle, og derfor er de 60 % et overkantskøn.

<sup>59</sup> Det antages dermed at Emmelev Mølle ikke importerer raps og at hele produktionen af RME er baseret på dansk produceret rapsfrø. Endvidere antages rapsudbyttet at være uafhængigt af forholdet mellem nonfood-rapsareal på udtagne arealer og raps på almindelige arealer, hvilket begrundes med, at rapsudbyttet fra Danmarks Statistik i forvejen er fra raps dyrket på både udtagne arealer som på almindelige arealer.

### Potentiale i Danmark

Med udgangspunkt i dieselforbruget i 2005 på 2.334.000 tons (Oliebranchen i Danmark 2006) skal der bruges henholdsvis 53.000 tons og 153.000 tons biodiesel<sup>60</sup> for at opfylde de vejledende EU mål for biodieselanvendelse til transport på 2 % i 2005 og 5,75 % i 2010. Skal EU's målsætning for 2010 opfyldes med RME produceret på dansk raps, svarer det til et arealforbrug på ca. 128.000 ha med raps, hvilket vil betyde en forøgelse af rapsarealet til RME-produktion på ca. 61.000 ha. På grund af risiko for overførsel af sygdom i raps, bør raps kun dyrkes på det samme areal hvert 5. år. Dermed bliver det maksimalt tilrådelige areal til rapsdyrkning i Danmark omkring 250.000 ha (Energistyrelsen 2003). Mængden af RME fra et areal på 250.000 ha vil kunne erstatte 13 % af dieselforbruget (i 2005).

Der vil altså i princippet være tilstrækkeligt areal til rådighed i Danmark til at producere den mængde RME, der skal til for at opfylde EU's 2005 og 2010 mål for biodiesel. Det skal bemærkes, at EU's målsætning gælder for biobrændstof som helhed og dermed også for benzin/bioethanol.

---

<sup>60</sup> Her er der taget hensyn til forholdet mellem diesel og biodiesel brændværdi og vægtfylder.

## Tidligere IMV rapporter

### 2006

Green roads to growth (konferenceprotokol). Forfattere: Abildtrup, Jens; Andersen, Kristoffer S.; Braathen, Nils-Axel; Böhringer, Christoph ; Calow, Peter; Djourdjin, Martha; Dubgaard, Alex; Fagerberg, Jan; Gabr, Hesham Morten; Hoffmann, Anders; Jahn, Karin; Kemp, René; Kola, Jukka; Levinson, Arik; Markandya, Anil; Morthorst, Poul Erik; Nielsen, Uffe; Pfaffenberger, Wolfgang; Pianta, Mario; Reinhard, Stijn; Rennings, Klaus; Rosted, Jørgen; Smith, Stephen; Steward, Fred; Stæhr, Karsten; Vollebergh, Herman R.J.; Wrang, Kasper; Ziegler, Andreas.

Teknisk redaktion: Henrik Saxe og Clemen Rasmussen. September.

Kørselsafgifter i København – en samfundsøkonomisk analyse. Wrang, Kasper; Nielsen, Uffe; Kohl, Morten. Maj.

Kørselsafgifter i København – de trafikale effekter. Rich, Jeppe Husted (DTU); Nielsen, Otto Anker (DTU). Maj.

Fødevarers miljøeffekter – det politiske ansvar og det personlige valg. Saxe, Henrik; Busk, Rico; Petersen, Mads Lyngby. April.

Getting Proportions Right – How far should EU Impact Assessments go? Nielsen, Uffe; Lerche, Dorte Bjerregaard; Kjellingbro, Peter Marcus; Jeppesen, Lykke Mulvad. April.

Tab af naturværdier ved Kombilinien - Tillægsnotat til 'Motorways vs. Nature'. Olsen, Søren Bøye (KVL); Ladenburg, Jacob (KVL); Petersen, Mads Lyngby (IMV); Ulrich Lopdrup (IMV). April.

Havbrug – Samfundsøkonomiske fordele og ulemper ved øget produktion af ørred i danske farvande. Kohl, Morten. Februar.

### 2005

Motorways versus Nature – A Welfare Economic Valuation of Impacts. Olsen, Søren Boye (KVL); Ladenburg, Jacob (KVL); Petersen, Mads Lyngby (IMV), Lopdrup, Ulrich (IMV), Hansen, Anja Skjoldborg (IMV); Dubgaard, Alex (KVL). December.

Environmental Harmful Subsidies - Linkages between subsidies, the environment and the economy. Kjellingbro, Peter Marcus; Skotte, Maria. September.

Natur, miljø og økonomi. Kapitel 7 i "Natur og Miljø 2005 – Påvirkninger og tilstand", eds. Hanne Bach, Niels Christensen, Henrik Gudmundsson, Trine Susanne Jensen, Bo Normander (DMU). Nielsen, Uffe (IMV); Hansen, Anja Skjoldborg (IMV); Lopdrup, Ulrich (IMV). August.

Looking Beyond Kyoto – Trade-offs and Disagreements in Climate Policy. Wrang, Kasper (IMV); Busk, Rico (IMV); Abildgaard, Jørgen (ECON Analysis); Stowell, Debbie (ECON Analysis). Maj.

Rethinking the Waste Hierarchy. Rasmussen, Clemen (IMV); Vigsø, Dorte (IMV); Ackerman, Frank (Tufts University); Porter, Richard (University of Michigan); Pearce, David (University College London and Imperial College London); Dijkgraaf, Elbert (Erasmus University, Rotterdam); Vollebergh, Herman (Erasmus University, Rotterdam). Marts.



**2004**

A Review of the North Atlantic Circulation, Marine Climate Change and its Impact on North European Climate. Olsen, Steffen M. (Danmarks Meteorologiske Institut); Buch, Erik (Danmarks Meteorologiske Institut); Busk, Rico (IMV). Maj 2004.

Økologi og Økonomi – Fordele og omkostninger ved økologisk fødevarerproduktion. Wrang, Kasper; Hansen, Anja Skjoldborg; Egense, Andreas. Maj 2004.

Pesticidstop på offentlige arealer – En økonomisk vurdering af udvalgte områder. Petersen, Mads Lyngby; Lassen, Rasmus Brandt. Marts 2004.

Nyttiggørelse af brændbart affald – Velfærdsøkonomisk analyse af medforbrænding ved cementproduktion på Aalborg Portland A/S. Rasmussen, Clemen; Reimann, Per. Februar.

**2003**

Forsigtighedsprincippet i praksis – Konkrete anvendelser af forsigtighedsprincippet i Danmark. Hansen, Anja Skjoldborg; Busk, Rico; Larsen, Thommy. December.

BAM-forurening af drikkevandet – Skal vi rense? Kristoffersen, Anders; Lassen, Rasmus Brandt. December.

Litteraturstudie af de samfundsøkonomiske værdier af fordelene ved et renere vandmiljø – Baggrundsnotat til Viden, værdier og valg – Debatoplæg om mål og midler for Vandmiljøplan III. Skotte, Maria. November.

Studie af omkostningerne ved regulering af næringsstofforureningen af vandmiljøet – Baggrundsnotat til Viden, værdier og valg – Debatoplæg om mål og midler for Vandmiljøplan III. Kjellingbro, Peter Marcus. November.

Viden, værdier og valg. Debatoplæg om mål og midler for Vandmiljøplan III. Hansen, Anja Skjoldborg; Furu, Anita; Kjellingbro, Peter Marcus; Skotte, Maria; Vigsø, Dorte. November.

Miljøeffektvurdering for Havmiljøet del 3: Miljøeffektvurdering ud fra empirisk og procesbaseret modellering. Hansen, Ian Sehested (DHI); Markager, Stiig (DHI). Oktober.

Miljøeffektvurdering for Havmiljøet del 2: 3D procesbaseret modellering af miljøtilstanden i de åbne farvande. Hansen, Ian Sehested (DHI), Uhrenholdt, Thomas (DHI); Dahlmadsen, Karl Iver (DHI). Oktober.

Miljøeffektvurdering for Havmiljøet del 1: Empirisk modellering af miljøtilstanden i de åbne indre farvande. Markager, Stiig (DMU); Storm, Lars (DMU). Oktober.

Dansk miljøstøtte – Udgifter og fordele ved miljøstøtte til Central- og Østeuropa. Vigsø, Dorte; Hussain, Zubair Butt. Oktober.

Reduktion af radon – En samfundsøkonomisk cost-benefit analyse. Petersen, Mads Lyngby; Larsen, Thommy. August.

Globale økonomiske tab ved vejrkatastrofer – Årsager til stigende tabsomkostninger i det 20. århundrede. Busk, Rico; Wrang, Kasper; Strandbjerg Pedersen, Jesper. September.

**2002**

Nyttiggørelse af returpapir – En samfundsøkonomisk analyse. Petersen, Mads Lyngby; Andersen, Henrik Thormod. December.

Knallerter – Samfunds- og miljøøkonomiske fordele og ulemper. Saxe, Henrik. December.

Samfundsøkonomisk vurdering af partikelfiltre – En cost-benefit analyse af partikelfiltre på dieselmotorer. Larsen, Thommy; Kristoffersen, Anders; Andersen, Henrik Thormod. November.

Tillægsnotat til rapporten "Pant på engangsemballage". Vigsø, Dorte; Højgaard, Betina.

Pant på engangsemballage? – En samfundsøkonomisk analyse af pantordningen for engangsemballage til øl og sodavand. Vigsø, Dorte; Andersen, Henrik Thormod. Oktober.

Danmarks omkostninger ved reduktion af CO<sub>2</sub> – En analyse af de forskellige muligheder. Kristoffersen, Anders. Oktober.

Assessing the Ecological Footprint – A look at the WWF's Living Planet Report. Jørgensen, Andreas Egense; Vigsø, Dorte; Kristoffersen, Anders; Rubin, Olivier. August.

Evaluation of the "Global Environmental Outlook – 3" Report by UNEP. Saxe, Henrik; Rubin, Olivier; Hansen, Anja Skjoldborg. August.

Miljøets pris – Danske miljøudgifter og indtægter. Vigsø, Dorte; Lyng, Morten Toft; Larsen, Thommy; Jørgensen, Andreas Egense. August.



## Om rapporten

Skal danske biler køre på biodiesel? Biodiesel kan benyttes i eksisterende dieselmotorer, kan reducere CO<sub>2</sub> udslippet fra transportsektoren og er baseret på raps, som er en fornybar ressource.

Danmark har valgt ikke at satse på en dansk anvendelse af biodiesel. Argumentet herfor er bl.a., at biodiesel ikke er et omkostningseffektivt middel til nedbringelse af det danske CO<sub>2</sub> udslip. Faktorer som råoliepris, teknologiudvikling og prisen på råvareinput som raps har indflydelse på, hvor omkostningseffektivt et tiltag er til CO<sub>2</sub> reduktion.

Denne rapport beregner og analyserer forskellige aspekter af CO<sub>2</sub> reduktionsomkostningerne for biodiesel baseret på raps. Det belyses hvilke former for usikkerheder der spiller ind på denne type beregning, og hvilke faktorer der har indflydelse på resultatet.

## Om IMV

IMV er et uafhængigt politik-analyseinstitut. Instituttets hovedformål er at informere den miljøpolitiske debat via kritiske velfærdsøkonomiske analyser af miljøspørgsmål.

IMV blev grundlagt i 2002. Instituttet arbejder tværfagligt, og medarbejderstaben består af eksperter i både naturvidenskab og miljøøkonomi. I 2007 fusionerer IMV med Det Økonomiske Råds Sekretariat.

Alle IMV rapporter kan hentes på [www.imv.dk](http://www.imv.dk)