

Bjart Holtsmark

**Virkningene på klimagassutslipp ved økt bruk
av biodrivstoff**

– en litteraturgjennomgang

Rapporter I denne serien publiseres analyser og kommenterte statistiske resultater fra ulike undersøkelser. Undersøkelser inkluderer både utvalgsundersøkelser, tellinger og registerbaserte undersøkelser.

© Statistisk sentralbyrå, oktober 2010 Ved bruk av materiale fra denne publikasjonen skal Statistisk sentralbyrå oppgis som kilde.	Standardtegn i tabeller	Symbol
ISBN 978-82-537-7953-9 Trykt versjon	Tall kan ikke forekomme	.
ISBN 978-82-537-7954-6 Elektronisk versjon	Oppgave mangler	..
ISSN 0806-2056	Oppgave mangler foreløpig	...
Emne: 01.04.10/01.02	Tall kan ikke offentliggjøres	:
Trykk: Statistisk sentralbyrå	Null	-
	Mindre enn 0,5 av den brukte enheten	0
	Mindre enn 0,05 av den brukte enheten	0,0
	Foreløpig tall	*
	Brudd i den loddrette serien	—
	Brudd i den vannrette serien	
	Desimaltegn	,

Forord

I Norge er det et omsetningspåbud for biodrivstoff på 3,5 prosent som planlegges trappet opp til 5 prosent i 2011. Alt biodrivstoff er fritatt for CO₂-avgift. Høyinnblandet etanol er dessuten fritatt også for veibruksavgift, mens biodiesel kun pålegges halvert veibruksavgift.

Denne subsidieringen av biodrivstoff i Norge har en klimapolitisk begrunnelse. Den bygger på en forutsetning om at økt bruk av biodrivstoff vil redusere klimagassutslippene. I de siste 2 – 3 årene har det imidlertid blitt publisert flere forskningsbidrag som sammen tegner et nytt bilde av klimaeffektene av biodrivstoff. Dersom man tar disse forskningsresultatene på alvor, blir det et åpent spørsmål om økt bruk av biodrivstoff bidrar til å redusere klimaproblemet. En samlet vurdering av den tilgjengelige forskningslitteraturen tilsier heller at det er mer sannsynlig at den skattemessige subsidieringen av biodrivstoff sammen med omsetningspåbudet så langt har bidratt til å øke de globale klimagassutslippene, og at dette vil være situasjonen i flere tiår fremover, før man på lang sikt vil kunne regne med at biodrivstoff gir reduserte utslipp. I denne rapporten gjennomgås de viktigste forskningsbidragene som gir grunnlag for å trekke en slik konklusjon.

Takk til Mads Greaker og Torbjørn Hægeland for kommentarer til et utkast. Takk også til Finansdepartementet og Norges forskningsråd for finansiell støtte til utarbeidelse av denne rapporten. Rapporten er en del av prosjektet ”Environmentally friendly transport: How to design policies for sustainable introduction of biofuels”.

Sammendrag

Produksjon av biodrivstoff er vesentlig mer energikrevende enn produksjon av fossil olje (se for eksempel Field m fl 2007) og man bruker normalt betydelige mengder fossil energi ved produksjon av biodrivstoff (Hill m fl 2006). Å erstatte fossilt drivstoff med biodrivstoff gir følgelig ikke så store direkte utslippsreduksjoner som man lenge gikk ut fra, da man så bort fra den fossile energibruken knyttet til produksjon av biodrivstoff.

De senere årene har det imidlertid også blitt satt fokus på at det skjer CO₂-utslipp når man tar i bruk nytt land for å dyrke frem vekster som kan videreføres til biodrivstoff (Fargione m fl 2008). Disse utslippene er særlig store dersom man brenner ned tropisk regnskog og/eller bruker torvland for dyrking av vekstene. Gjennom bearbeidelsen av slik jord vil karbon lagret i jord komme i kontakt med oksygen i luften og danne CO₂. I enkelte tilfeller kan det her være snakk om store CO₂-utslipp som det vil kunne ta flere århundrer å betale tilbake ved å la biodrivstoff erstatte fossilt drivstoff. I mellomtiden har bruken av biodrivstoff forsterket klimaproblemet. Men bildet ser for eksempel bedre ut dersom man tar i bruk savanner i Brasil for dyrking av sukkerrør til etanol. Det vil gi en tilbakebetalingstid på anslagsvis 17 år (Fargione m fl 2008).

Med den banebrytende artikkelen av Timothy D. Searchinger m fl i Science i februar 2008 ble det skapt ytterligere usikkerhet om klimaeffekten av biodrivstoff. Poenget i Searchinger m fl (2008) er at når man går over til å dyrke råstoff for biodrivstoff på eksisterende jordbruksarealer, reduseres tilbudet av mat. Dermed presses matvareprisene opp, og dermed blir det mer lønnsomt å rydde nytt jordbruksland andre steder på kloden. Dette øker presset på avskoging i tropene.

Det finnes imidlertid betydelige arealer av jord som ligger brakk etter tidligere hogst eller jordbruk og som har et lavt karboninnhold. Flere forskningsarbeider understreker at dyrking av bioenergi på slike arealer er hensiktsmessig fordi det både kan gi bioenergi samtidig som man øker stående karbon i jordlaget og i biomassen på disse arealene. Men anslag i blant annet Field m. fl. (2007) tyder på at selv om man utnytter alle arealer som ligger brakk, vil man maksimalt kunne produsere biodrivstoff som kan erstatte 5 – 8 prosent av det globale energiforbruket innenfor transport.

Som det fremkommer av det ovenstående, er det usikkert om økt omsetning av biodrivstoff i Norge bidrar til reduserte CO₂-utslipp globalt. Ut ifra en helhetlig vurdering av litteraturen på feltet, er det mer rimelig å tro at politikken så langt har bidratt til økte CO₂-utslipp globalt, og at dette vil være resultatet også om politikken videreføres. Omsetningspåbudet i Norge bør derfor vurderes avvirket i lys av den kunnskap som er kommet frem etter at denne politikken ble utformet. Det er ingen grunner til å frita biodrivstoff for veibruksavgifter. Man bør også vurdere innføring av CO₂-avgift på biodrivstoff.

Abstract

Production of biofuels is significantly more energy intensive than production of fossil fuels as petrol and diesel (see for example Field et al. 2007). Moreover, during the production process considerable amounts of fossil energy are used as input (Hille et al. 2006). Replacing fossil fuels with biofuels will therefore not lead to emission reductions as significant as one earlier thought, when the fossil fuel input in relation to production of biofuels was ignored.

Moreover, during recent years there has been increased attention towards CO₂-emissions that will occur as farmers worldwide convert grassland and forests to cropland in order to produce biofuels (Fargione et al. 2008). Such emissions are especially significant when tropical rainforests and peatlands are converted to cropland. As the areas are converted to cropland microbial decomposition of organic carbon stored in the soil are released as CO₂. In some cases such emissions are high and cause a carbon debt that will require many decades or even centuries to be repaid, as biofuels replace fossil fuels. In the meantime the production and use of biofuels have exaggerated climate change. However, there are more promising cases. For example, converting savannas in Brazil for sugarcane production will cause a carbon debt that will be repaid after approximately 17 years (Fargione et al 2008).

The seminal article by Timothy D. Searchinger et al. in Science in February 2008 generated additional uncertainty with regard to the emission reducing effects of biofuels. These authors' main argument was that increased use of existing croplands for biofuels reduces food supply and, therefore, causes higher food prices. This increases the pressure towards further deforestation.

However, there are considerable areas of abandoned land that was previously used for forestry or agriculture, and has a low content of carbon stored in the soil. A number of studies underline that producing crops for biofuels on these areas is suitable, also because this could cause that the stock of carbon stored in the soil to increase. However, estimates in Field et al. (2007) suggest that even if all such abandoned land are allocated for biofuels production, it could probably not provide biofuels replacing more than 5 – 8 percent of all fossil fuels used in transport today.

As it appears from the research discussed in this report, it is uncertain whether increased use of biofuels in Norway will be a contribution to lower global greenhouse gas emissions. From an overall assessment of the research literature on biofuels, it appears that the Norwegian biofuels policy thus far most likely has given increased global greenhouse gas emissions. This will probably also be the result if the policy is maintained. Hence, the blending mandate ought to be reconsidered in the light of new knowledge that has been achieved subsequent to the design of the Norwegian biofuels policy. There are few if any reasons exempting biofuels from ordinary taxes imposed on fossil fuels. Introduction of a carbon tax on biofuels should also be considered.

Innhold

Forord	3
Sammendrag	4
Abstract	5
1. Innledning	7
2. Biodrivstoff – teknisk og økonomisk status	9
2.1. Hva er biodrivstoff?	9
2.2. Biodrivstoff i den globale energiforsyningen	10
2.3. Karbonkretsløpet – hvorfor biobrensel?	11
3. Hvordan vil biodrivstoff påvirke utslippene av klimagasser?	13
3.1. Direkte utslipp (utenom utslipp fra arealendringer).....	13
3.2. Om utslipp ved arealendring	14
3.3. Om indirekte utslippseffekter (indirekte arealendringer).....	15
3.4. Kan biodrivstoff dyrkes på arealer som i dag ligger brakk?	17
4. Diskusjon og oppsummering	20
4.1. Vil bruk av biodrivstoff i Norge øke eller redusere globale CO ₂ -utslipp?	20
4.2. Bærekraftskriterier	21
4.3. En totalvurdering av biodrivstoff	22
4.4. Virkemiddelbruken	23
4.5. Behandlingen av biodrivstoff i Klimakur 2020	24
Referanser	25
Figurregister	28
Tabellregister	29

1. Innledning

Det har lenge vært bred aksept for at bruk av bioenergi er ”klimanøytralt”, noe som innebærer at man ikke skal regne CO₂-utslipp ved forbrenning av bioenergi som et problem. Følgelig er ikke CO₂-utslipp fra forbrenning av bioenergi kvotepliktig i kvotehandelssystemene i Norge og EU. Hvis for eksempel et kullkraftverk i EU erstatter en del av kullet med pellets laget av trevirke, trenger ikke kullkraftverket innlevere utslippskvoter for den delen av utslippene som genereres ved forbrenningen av pellets. Tilsvarende er det ingen av de landene som har CO₂-avgift som inkluderer CO₂ fra bioenergi som en del av avgiftsgrunnlaget. At biodiesel og etanol er fritatt for CO₂-avgift er også et resultat av at CO₂-utslipp fra biomasse anses som klimanøytralt.

Synet på bioenergi som klimanøytralt er også reflektert i rapporten fra faggruppen Klimakur 2020, som ble offentliggjort i februar i år. Følgelig inkluderer man ikke CO₂-utslipp ved forbrenning av bioenergi i utslippstallene (Klimakur 2020, 2010). Med en slik måte å regne på kommer man i Klimakur 2020 frem til at ytterligere opptrapping av bruken av biodrivstoff blir det enkelttiltaket som gir størst utslippsreduksjon frem mot 2020. Her må man imidlertid huske på at Klimakurs mandat var å se på utslipp i Norge slik disse regnskapsføres i henhold til Klimakonvensjonen og Kyoto-protokollens regelverk. Og i henhold til dette regelverket bokføres ikke CO₂-utslipp som genereres ved forbrenning av bioenergi.

Det er imidlertid ikke uenighet om at forbrenning av bioenergi gir CO₂-utslipp på linje med forbrenning av fossile kilder. Forbrenning av for eksempel trevirke gir omtrent like høye CO₂-utslipp per energienhet som kull, det vil si høyere enn olje og gass. Årsaken til at biomasse likevel ikke er kvotepliktig og er fritatt for CO₂-avgift er at plantene gjennom sin vekst fanger tilbake den samme mengden CO₂ fra atmosfæren som biomassen avgir ved forbrenning. Inn høsting av ulike vekster for bioenergiformål vil gi plass til nye vekster som fanger den samme mengde CO₂ tilbake.

Når det gjelder forbrenning av trevirke fra trær i norsk skog, er et slikt resonnement misvisende, ettersom det typisk tar 70 – 120 år fra man hugger et tre til det er erstattet av et nytt som utgjør et like stort karbonlager. Som vist i Holtmark (2010a,b) vil følgelig økt hogst for bioenergiformål gi en netto økning i CO₂-utslippene til atmosfæren i hele dette århundret. Å øke hogsten i Norge, for eksempel for å produsere andre generasjons biodrivstoff av det uttatte trevirket, vil derfor øke nettoutslippene til atmosfæren i lang tid fremover.

Når det gjelder første generasjons biodrivstoff, som i dag er det reelle alternativet, lages dette normalt av hurtigvoksende vekster som fanger tilbake den forbrente karbonmengden i løpet av det nærmeste året. Slik sett virker argumentet for at biodrivstoff er klimanøytralt relativt solid ved første øyekast.

De siste årene har det imidlertid kommet ny forskning som problematiserer også dette resonnementet. Denne forskningslitteraturen fremhever at jord og vegetasjon på landjorden utgjør et stort, men labilt karbonlager. På samme måte som forbrenning av olje, kull og gass forflytter et karbonlager fra jordskorpen til atmosfæren, kan produksjon og forbrenning av biodrivstoff og annen bioenergi også føre til en slik forflytning av et karbonlager til atmosfæren. Vegetasjon og jord på landjorden inneholder om lag tre ganger så mye karbon som atmosfæren. En reduksjon i karbonmengden lagret i vegetasjon og jord på vil følgelig kunne øke karboninnholdet i atmosfæren signifikant. Tilsvarende vil en økning i vegetasjonens og jordlagets karbonlager kunne gi en vesentlig reduksjon i CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren.

I debatten om bioenergi har det vært en tendens til å ha et for smalt perspektiv. I en globalisert verden kan man ikke se isolert på hvordan for eksempel rapsdyrking i Europa påvirker europeiske utslipp. Det er globale klimagassutslipp som er viktige, ikke hva som skjer i Europa. Og i en globalisert verdensøkonomi er det globale ringvirkninger av hva vi gjør i Europa. Og det er nettopp denne typen ringvirkninger som har kommet i fokus med de senere årenes forskning om biodrivstoff. Hovedformålet med denne rapporten er å gi en oversikt over de senere årenes forskningsresultater på dette området.

2. Biodrivstoff – teknisk og økonomisk status

2.1. Hva er biodrivstoff?

Veitransport er i dag i all hovedsak basert på flytende fossilt brensel, enten bensin eller diesel. Parallelt med de senere årenes betydelige prisøkning på olje har det imidlertid blitt økende interesse for å fremstille flytende brensel av planter. Etanol kan erstatte bensin, mens biodiesel kan erstatte fossil diesel.

Første generasjons biodiesel lages gjennom en videreforedling av olje som finnes naturlig i vekstene. Dette er en velkjent og velprøvd teknologi. Typiske vekster for slik produksjon er oljepalmer, raps, soyabønner og den tropiske planten jatropha.

Andre generasjons, eller syntetisk biodiesel kan produseres ved å gassifisere trevirke eller annen celluloseholdig biomasse og deretter lage flytende drivstoff av syntesegassen (Fisher-Tropsch prosess). Fordelen med denne produksjonsformen er at man ikke benytter produkter som kunne vært anvendt til mat. Hvorvidt det vil vise seg økonomisk gjennomførbart å produsere syntetisk biodiesel i stor skala, er imidlertid for tidlig å si.

Fossil diesel med lavinnblanding av biodiesel kan brukes med små eller ingen tilpasninger i de fleste av dagens dieselmotorer. Høyinnblanding eller bruk av ren biodiesel krever normalt noen justeringer og tilpasninger av dieselmotoren.

Også når det gjelder etanol, må vi skille mellom første og andre generasjon.

Første generasjons etanol er produsert gjennom gjæring av glukose og fruktose, som man finner i for eksempel sukkerrør og sukkerroer. Men også fra stivelsesholdige vekster som ulike kornslag kan man få fruktose og glukose. Etter gjæringsprosessen må produktet destilleres og dehydreres for å få ren etanol. Denne produksjonsprosessen er energikrevende. I forbindelse med produksjon av etanol fra mais er for eksempel energiforbruket i forbindelse med produksjons- og transportkjeden anslått til å utgjøre 80 prosent av energiinnholdet i den etanolmengden man ender opp med (Field m.fl., 2008, s 67). Det tilsvarende tallet for produksjon av konvensjonell fossil olje er 7 – 10 prosent.¹

Det går med relativt store mengder råstoff i produksjonen av etanol. For å produsere 1 liter etanol går det for eksempel med om lag 2,5 kg hvete, dersom hvete er råstoffet.

Andre generasjons etanol kan også lages av trevirke og annen celluloseholdig biomasse. Det har den fordel at man ikke bruker råstoff som kunne blitt brukt til mat. Dessuten vil andre generasjons etanol åpne en betydelig tilgang på råstoff i form av restavfall fra både landbruk og skogbruk dersom man lykkes med denne teknologien. Endelig gir andre generasjons etanol mulighet for å kunne produsere drivstoff av trevirke. Men her står man overfor en mindre moden teknologi. Det er for tidlig å si hvilken rolle andre generasjons etanol vil kunne få. I dag er etanol i all hovedsak basert på første generasjon og altså i konkurranse med matproduksjon. Konkurransen med mat er en hovedgrunn til at Farrell m fl (2006) konkluderer med at storskala bruk av etanol som drivstoff krever at man går over til en cellulosebasert teknologi.

¹ Flere kilder, blant annet Howarth m fl (2009, s 26), oppgir at energibalansen i etanolproduksjon og biodieselproduksjon er langt bedre ved bruk av for eksempel sukkerrør og palmeolje. Searchinger (2010) peker imidlertid på at man i disse produksjonsprosessene bruker betydelige mengder energiinput i form av biologisk restavfall fra sukkerrør og palmeoljeproduksjonen. Ettersom det er tradisjon for å regne biomasse som klimanøytralt, er heller ikke energiinput fra denne biomassen regnet med i energibalansen. Og fordi den anvendte biomassen kunne hatt en alternativ anvendelse som energikilde, kan det stilles spørsmålsteget ved denne typen energibalansetall.

2.2. Biodrivstoff i den globale energiforsyningen

Bioenergi sto i 2007 for om lag 7 prosent av verdens energiforbruk (Field 2007), men flytende biobrensel, heretter kalt biodrivstoff, utgjorde en mindre andel av all bioenergi, om lag 6 prosent. Biodrivstoff dekket følgelig om lag 0,4 - 0,5 prosent av samlet globalt energiforbruk i 2007 (ibid. s. 147), eller 1,8 prosent av totalt energiforbruk innenfor transportsektoren (IEO 2010, s. 109, OECD 2008, s. 15). Transport bruker om lag 50 prosent av alt flytende brensel og denne andelen forventes å øke betydelig (ibid.).

Tabell 2.1. Biodrivstoffproduksjon etter land. Mtoe 2007

	Etanol	Biodiesel	Totalt
USA	14,55	1,25	15,8
Brasil	10,44	0,17	10,61
EU	1,24	4,52	5,76
Kina	1,01	0,08	1,09
Canada	0,55	0,07	0,62
Indonesia	0	0,3	0,3
India	0,22	0,03	0,25
Malaysia	0	0,24	0,24
Andre	0,56	0,88	1,44
Verden	28,57	7,56	36,13

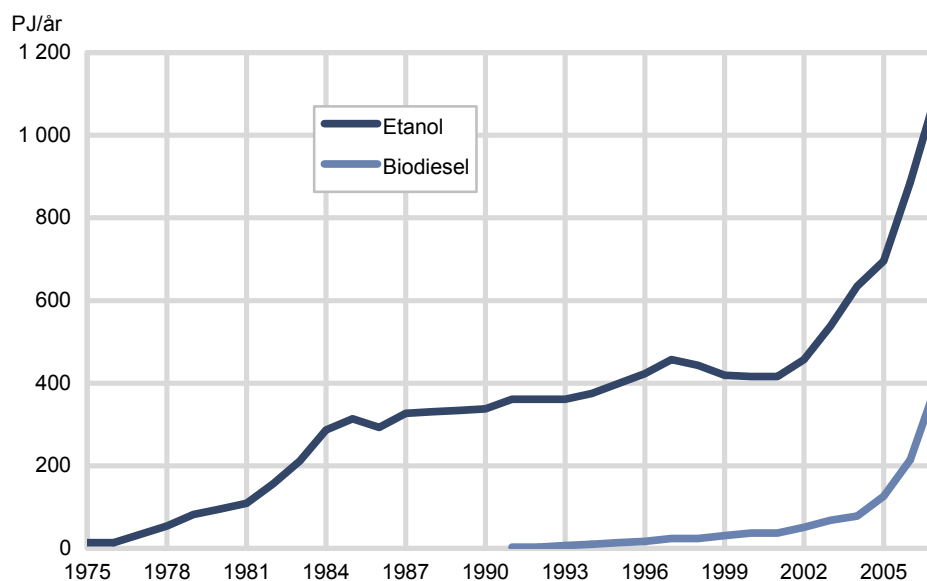
Kilde: OECD 2008 s. 16

Biodrivstoff dekker altså foreløpig en relativt lav andel av energibruken i transportsektoren, og produksjonen er konsentrert om noen få land, se tabell 2.1.

Selv om biodrivstoff altså spiller en liten rolle i det totale energibildet, er det blitt en viktig næring. Parallelt med økende oljepriser har produksjonen av biodrivstoff, både biodiesel og etanol, vokst raskt de siste årene, se figur 2.1. Allerede i 2007 brukte USA 24 prosent av den årlige maisavlingen til etanolproduksjon (Howarth m fl 2009, s 20) og om lag 5 prosent av den globale kornproduksjonen gikk til dette formålet i 2007 (ibid. s. 22). Til tross for at den globale kornproduksjonen økte med hele 4,6 prosent i 2007, gikk 55 prosent av denne økningen til produksjon av biodrivstoff (ibid.). IEO (2010) anslår at produksjonen av biodrivstoff vil fordobles fra 2007 til 2015, men at veksten deretter vil flate ut på grunn av mangel på arealer.

Veksten i produksjon og forbruk av biodrivstoff er først og fremst drevet frem av ulike statlige stimulanser, men også høyere oljepris har spilt en viss rolle. Stimulansene har blitt gitt både gjennom direkte subsidiering av produksjon og forbruk, men også gjennom lovpålagte omsetningsandeler for biodrivstoff.

Figur 2.1. Utvikling i produksjonsvolum for biodrivstoff (biodiesel og etanol) fra 1975 til 2007



Kilde: Howarth mfl (2009)

Brasil og USA er det to største produsentene av biodrivstoff, med henholdsvis 29 og 43 prosent av verdensproduksjonen. Biodrivstoffproduksjonen i EU utgjør knappe 6 prosent, se tabell 2.1.

I USA og Brasil har støttepolitikken i første rekke vært motivert av muligheten for å gjøre seg mindre avhengig av importert olje. Men subsidiering av produksjon av biodrivstoff har også gitt muligheter for å gi politisk populære stimulanser til landbruket. I mange utviklingsland betraktes dessuten biodrivstoffproduksjon som en viktig mulighet til næringsutvikling. I EU har det også vært en viktig motivasjonsfaktor for støttepolitikken at biodrivstoff har blitt betraktet som et bidrag til reduserte CO₂-utslipp. I Norge, som er nettoeksportør av fossil olje, er støttepolitikken for biodrivstoff motivert ut ifra klimaaspekter og kravene fra EU om en 10 prosent andel fornybar energi innenfor transportsektoren innen 2020.

Det norske innblandingspåbudet for biodrivstoff og fritaket for CO₂-avgift og andre avgifter (halv veibruksavgift innført for biodiesel fra 2010), har drevet frem et visst forbruk av biodrivstoff også i Norge. Foreløpig er det meste av biodrivstoffomsetningen i Norge biodiesel, som følgelig har blitt innblandet i med andel på rundt 5 – 7 prosent for å nå omsetningspåbudet på 3,5 prosent for alt drivstoff. Men det selges også en del høyinnblandet biodiesel. Statoil har en markedsandel på ca 35 prosent av drivstoffmarkedet i Norge. Om lag 90 prosent av biodiesel Statoil solgte i Norge i 2009 kom fra Mestilla, et produksjonsanlegg i Litauen der Statoil har 49 prosent eierandel. Råstoffene som brukes i anlegget er rapsfrø og rapsolje, som leveres med jernbane eller tankbil til stedet. Råstoffet til rapsolje kommer i hovedsak fra Litauen, Hviterussland og Russland. Men Statoil selger også en del etanol i Norge. Denne er hovedsakelig produsert i Europa basert på hvete og i Brasil basert på sukkerrør.

2.3. Karbonkretsløpet – hvorfor biobrensel?

For å avgjøre om biodrivstoff har potensial til å redusere CO₂-utslippene, må man forstå i hvilken grad økt bruk av bioenergi kan påvirke karbonkretsløpet på jorden. I vegetasjon på landjorden er det lagret drøyt 600 milliarder tonn karbon (GtC), jordlaget lagrer om lag 1600 GtC, mens atmosfæren rommer 750, se Field m. fl. (2007).

Årlig fanger vegetasjonen anslagsvis 120 GtC karbon fra atmosfæren gjennom fotosyntesen. Men samtidig vil det gjennom forråtnelsesprosesser forsvinne omtrent 60 GtC karbon ned i jordsmonnet og ca 60 GtC opp igjen i atmosfæren. Fra jordlaget vil det også skje en oksidasjon med tilførsel av CO₂ til atmosfæren i omtrent like store mengder.

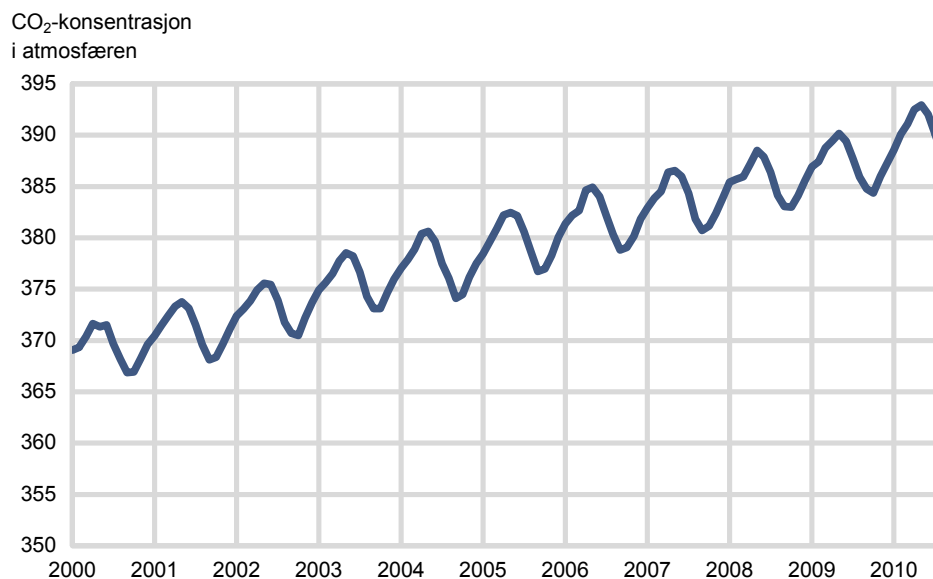
Figur 2.2 illustrerer viktigheten av fangst og lagring gjennom fotosyntesen på landjorden, og hvordan denne fangsten svinger over året. Når våren kommer på den nordlige halvkule, som har mest landareal, faller CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren betydelig fordi varmen stimulerer fotosyntesen og dermed får man at vegetasjonens fangst og lagring mer enn kompensere for utslippene fra forbrenning av fossil energi.

Den økende trenden i CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren skyldes trolig tilførselen av CO₂ fra forbrenning av fossil energi. Globale CO₂-utslipp fra fossile brenslere var i 2007 på 8,1 GtC (IEO 2010, s 123). Dette er en ren forflytning av karbon fra det fossile karbonlageret i jordskorpen til atmosfæren. Det fossile karbonlageret er trolig så stort at en ukontrollert bruk i lang tid fremover, vil føre til en sterk økning i konsentrasjonen av CO₂ i atmosfæren.

Dagens biodrivstoff produseres i all hovedsak av jordbruksprodukter som kunne vært anvendt til mat.. Vegetasjonen på verdens totale jordbruksareal fanger i dag rundt 8 GtC årlig (Behrenfeld 2001), altså omtrent den samme mengden karbon som årlig tilføres atmosfæren gjennom all forbrenning av fossile lagre. Enten

maten blir spist eller brukt som biodrivstoff, vil den igjen bli oksidert til CO₂ og ført tilbake til atmosfæren. Ved bruk av biodrivstoff i transportsektoren, tilfører man derfor, ut ifra et litt forenklet resonnement, ikke ekstra CO₂ til atmosfæren.

Figur 2.2. Utvikling i CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren fra januar 2000 til august 2010



Kilde: NOAA

Som vil bli diskutert i de påfølgende avsnitt, er imidlertid bildet mer komplisert. For å kunne øke produksjonen av biodrivstoff, kan man ikke bare benytte eksisterende jordbruksarealer. For å mette en voksende verdensbefolkning, vil det tvert imot trolig bli nødvendig å ekspandere de arealene som brukes til matproduksjon. For å øke produksjonen av biodrivstoff, må man derfor dyrke opp jord som nå ikke er utnyttet for jordbruksformål. I denne prosessen vil jordlaget ha en tendens til å miste deler av sitt karbonlager, som oksideres til CO₂ i atmosfæren. Slike utslipp i forbindelse med arealendringer er kommet i fokus de siste årene, særlig etter at Fargione m fl (2008) satte fokus på hvor store utslipp det her er snakk om. Dette er nærmere omtalt i avsnitt 3.2.

Som vi diskuterer i avsnitt 3.4, er det imidlertid betydelige arealer som i dag ligger brakk og som også er lite karbonholdige, og derfor ikke vil forårsake store CO₂-utslipp ved oppdyrking. Slike arealer kan med fordel utnyttes til produksjon av biodrivstoff.

3. Hvordan vil biodrivstoff påvirke utslippene av klimagasser?

I de fire påfølgende underavsnitt gis en oversikt over nyere forskning knyttet til utslippseffektene av biodrivstoff. Avsnitt 3.1 ser på utslipp i forbindelse med dyrking, videreforedling og distribusjon. Avsnitt 3.2 ser på utslipp i forbindelse med direkte arealendringer, for eksempel når skog hugges eller brennes for å gi nytt jordbruksland til produksjon av biodrivstoff. Avsnitt 3.3 ser på utslipp som oppstår fordi produksjon av biodrivstoff påvirker priser særlig i matvaremarkedene og dermed indirekte kan føre til arealendringer andre steder i verden, som igjen genererer utslipp. Avsnitt 3.4 ser på potensialet for dyrking av vekstene på arealer som i dag ligger brakk.

3.1. Direkte utslipp (utenom utslipp fra arealendringer)

Som nevnt er produksjon av biodrivstoff mer energikrevende enn produksjon av fossil olje. Både i dyrkingsfasen, i transport- og distribusjonsfasen, og ikke minst i foredlingsfasen er det en betydelig energibruk. Denne energibruken gir normalt CO₂-utslipp. Videre vil bruk av kunstgjødsel kunne gi utslipp av lystgass. Menichetti og Otto (2009) har gjennomgått 30 studier som anslår denne typen direkte utslipp av klimagasser i forbindelse med produksjon av biodrivstoff. I det følgende gis en oppsummering av funnene i Menichetti og Otto (2009).

Tabell 3.1. Gjennomsnittlig anslått reduksjon i bruk av fossil energi og utslippsreduksjon ved overgang til biodrivstoff i de studier som er gjennomgått i Menichetti og Otto (2009).¹ Utslipp fra arealendringer og indirekte virkninger er ikke medregnet

	Reduksjon i bruken av fossil energi	Reduksjon i utslipp av drivhusgasser
Mais	38	14
Oljepalme	36	38
Soyabønner	49	46
Raps	61	52
Hvete	51	53
Sukkerroer	64	53
Sukkerrør	87	86

¹ Der studiene gjennomgått i Menichetti og Otto (2009) gir et intervall i stedet for et punktstimat, er middelveidien av laveste og høyeste verdi valgt.

Kilde: Menichetti og Otto (2009).

Når det gjelder etanol produsert av mais, er det vanlig å anta at produksjonen gir høy bruk av fossil energi. Dette bilde tegnes også av Menichetti og Otto (2009). Og både Field m fl (2007) og Searchinger m fl (2008) anslår at den direkte utslippsreduksjonen ved produksjon av etanol fra mais er om lag 20 prosent ved overgang fra bensin til etanol laget av mais. Men da har man altså ikke tatt hensyn til utslipp ved arealendringer, direkte eller indirekte.

De direkte utslippene er mindre ved produksjon av etanol laget av sukkerrør. Her viser Menichetti og Otto (2009) til syv studier. Seks av disse anslår utslippsreduksjonen ved overgang fra bensin til etanol laget av sukkerrør til over 84 prosent.

Når det gjelder biodiesel laget av raps er resultatene som Menichetti og Otto (2009) viser til sprikende, fra 80 prosent utslippsreduksjonen som det beste anslaget, til bare 20 prosent som det laveste anslaget. De fleste studiene Menichetti og Otto (2009) viser til, kommer imidlertid frem til at overgang til raps gir en direkte utslippsreduksjon i intervallet 40 – 60 prosent.

Produksjon av palmeolje er kjent for de store utslippene i forbindelse med arealendringer, se neste avsnitt. Når det gjelder de direkte utslippene i forbindelse med selve dyrkings- og foredlingsprosessen, varierer anslagene mye, fra en utslippsreduksjon på opp til 70 prosent, ned til 8 prosent (Menichetti og Otto, 2009).

Som nevnt over, gir imidlertid ikke tabell 3.1 et riktig bilde av hva som er de endelige utslippseffektene av biodrivstoff. For å få dette bildet, må man trekke inn utslippene ved arealendringer og hvordan slike arealendringer drives frem gjennom prisseffekter i de internasjonale matvaremarkedene. Dette er gjennomgått i de to påfølgende underavsnittene.

Men Menichetti og Otto (2009) peker også på at få av de studiene de har gjennomgått, inkluderer utslippene av drivhusgassen N₂O (lystgass) i forbindelse med produksjon av biodrivstoff. Disse utslippene kan være større en tidligere antatt, og de kan være så betydelige at et gunstig klimaregnskap for biodrivstoff i enkelte tilfeller blir snudd på hodet, selv før man trekker inn effekten av arealendringer og indirekte effekter. Lystgass er en potent drivhusgass med omtrent like lang levetid i atmosfæren som CO₂ (Crutzen m fl 2007, Melillo m fl 2009).

3.2. Om utslipp ved arealendring

Innledningsvis peker Fargione m fl (2008) på at den økende etterspørselen etter biodrivstoff har resultert i at tidligere uberørte økosystemer i både Amerika og i Asia har blitt konvertert til jordbruksland. Som pekt på i Searchinger m fl (2008), er det ikke nødvendigvis slik at man dyrker råstoff til biodrivstoff på disse områdene. Det kan like gjerne være at økt bruk av mais for produksjon av biodrivstoff reduserer tilbudet av mais i matvaremarkedet. Det fører i første omgang til en prisøkning på mais, som igjen fører til økte etterspørsel etter et nært substitutt som soyabønner. Det igjen fører til prisøkning på soyabønner, noe som gjør det mer lønnsomt å legge nytt land under ploegen i Sør-Amerika eller Asia for dyrking av soyabønner (se også Laurance 2004). Slike indirekte virkninger er behandlet i neste avsnitt.

Hovedpoenget i Fargione m fl (2008) er at konvertering av uberørt natur til dyrket mark frigir CO₂, både fordi vegetasjonen som er der i utgangspunktet brennes og fordi deler av karbonet lagret i jord eller i torvlaget dermed frigjøres og blir til CO₂. Fargione m fl (2008) kaller den mengden karbon som frigis på denne måten for karbondjeldingen ved arealendringer. Over tid kan produksjon av biobrensel på disse arealene betale tilbake karbondjeldingen dersom biobrenselet erstatter fossile kilder. Men inntil karbondjeldingen er tilbakebetalt, har overgangen til bioenergi økt CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren.²

Fargione m fl (2008) ser på seks forskjellige tilfeller der naturlige habitater omgjøres til jordbruksland: regnskog (Amasonas) og savanner (Cerrado) i Brasil konverteres for dyrking av soyabønner for produksjon av biodiesel, savanner (Cerrado) i Brasil konverteres for dyrking av sukkerrør for produksjon av etanol, tropisk regnskog på torvland i Indonesia og Malaysia omgjøres til palmeoljeplantasjer, og gressletter i USA konverteres for dyrking av mais for etanolproduksjon, se tabell 3.2.

Valgene av tilfeller er illustrative for hva som faktisk skjer. Om lag 86 prosent av palmeoljeproduksjonen skjer i Indonesia og Malaysia. Samtidig anslår Hooijer m fl (2006) at palmeoljeproduksjon er den viktigste årsaken til avskogingen i disse landene.³ I Cerrado-savannene i Brasil skjer det en omfattende konvertering av

² Dette er et forenklet resonnement. Akkumulasjon av CO₂ akkumuleres i atmosfæren er en kompleks prosess som ikke står i et enkelt, lineært forhold til utslipp. O'Hare m fl (2009) presenterer imidlertid beregninger som konkluderer med at dersom man tar hensyn til hvordan CO₂ akkumuleres i atmosfæren, gitt utvekslingen med hav og vegetasjon på landjorden, vil det enkle karbondjeld resonnetet trolig tegne et for pent bilde av klimaeffekten av CO₂-utslipp ved arealendringer.

³ Om lag 95 prosent av palmeoljeproduksjonen globalt går fortsatt til mat. Men en andel av den palmeoljen som produseres i sørøst Asia eksporteres til Europa, der den brukes som drivstoff (Hooijer m fl 2006). Samtidig importerer Norge biodiesel fra Europa basert på raps dyrket i Europa. Det betyr at hvis Norge hadde importert mindre rapsbasert biodiesel fra EU, kunne EU importert mindre palmeoljebasert biodiesel fra sørøst Asia.

savanner og regnskog for produksjon av sukkerrør og soyabønner. Samtidig blir betydelige arealer av gressletter i USA nå årlig konvertert for dyrking av mais.

Resultatene i Fargione m fl (2008) er oppsummert i tabell 3.2. De viser at konvertering av regnskog på torvland i Indonesia og Malaysia til palmeoljeplantasjer for biodieselproduksjon vil gi en karbondjeld som ikke blir tilbakebetalt på flere århundrer. Hvor mange århundrer avhenger av dybden på torven. Med tre meters dybde på torven vil ikke karbondjelden være tilbakebetalt før etter over 800 år. Fargione m fl (2008) anslår følgelig at i de første århundrene vil altså denne typen biodieselproduksjon forårsake en økning av CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren, selv om man tar med i regnestykket at biodiesel erstatter fossil diesel.

Tilsvarende regnestykke for soyabønneproduksjon på områder i Amazonas anslås å gi en karbondjeld som tilbakebetales i løpet av over 300 år, se tabell 3.2.

Et gunstigere bilde får man ved produksjon av etanol fra sukkerrør ved konvertering av velegnede savanner i Cerrado. Det vil gi en tilbakebetaling av karbondjelden på 17 år. I mindre velegnede deler av Cerrado kommer Fargione m fl (2008) frem til at karbondjelden tilbakebetales på 37 år dersom man dyrker soyabønner for biodiesel. Det vil altså konkret si at dersom man i dag konverterer denne typen savanner i Brasil for biodieselproduksjon, vil det forårsake en nettoøkning i CO₂-utslippene frem til 2047. Frem til dette tidspunkt vil altså tiltaket forsterke klimaproblemet. Først etter 2047 skal man, i henhold til beregningene i Fargione m fl (2008), begynne å høste CO₂-gevinster.

Tabell 3.2. Tilbakebetalingstid for karbondjeld i ulike biodrivstoffprosjekter.

Type biodrivstoff	Opprinnelige økosystem	Land	Tilbakebetalings- tid (år)
Biodiesel fra palmeolje	Tropiske regnskog	Indonesia og Malaysia	86
Biodiesel fra palmeolje	Torvland i regnskog	Indonesia og Malaysia	423
Biodiesel fra soyabønner	Tropisk regnskog	Brasil	319
Etanol fra sukkerrør	Skogkledd savanne	Brasil	17
Biodiesel fra soyabønner	Gresskledd savanne	Brasil	37
Etanol fra mais	Sentral gresslette	USA	93
Etanol fra mais	Forlatt jordbruksland (nå skog)	USA	48
Etanol fra biomasse	Forlatt jordbruksland	USA	1
Etanol fra biomasse	Marginalt dyrkbar jord	USA	0

Kilde: Fargione m fl (2008)

Konklusjonen i Fargione m fl (2008) er at med dagens teknologi vil konvertering av naturområder for biodrivstoffproduksjon være kontraproduktivt sett fra et klimasynspunkt. Men samtidig tegner de et vesentlig mer optimistisk bilde av å utnytte jordbruksland som ligger brakk, da denne typen arealer ofte allerede har mistet en vesentlig del av sitt karbonlager. Bruk av forlatt jordbruksland eller marginalt dyrkbar jord i USA kan for eksempel være et fornuftig tiltak som ikke vil generere en karbondjeld, men tvert imot bidra til at arealene akkumulerer karbon. Imidlertid, dersom arealene er blitt gjengrodd med skog, kan karbonlageret igjen ha blitt så stort at de ikke bør utnyttes for bioenergiformål, se tabell 3.2. Utnyttelse av arealer som ligger brakk er nærmere omtalt i avsnitt 3.4.

3.3. Om indirekte utslippseffekter (indirekte arealendringer)

Searchinger m fl (2008) er den mest sentrale studien av indirekte virkninger. De bruker en global jordbruksmodell til å estimere hva som skjer når man anvender en økende mengde mais i USA til produksjon av biodrivstoff. Slike modellresultater er alltid meget usikre, da de bygger på mange usikre forutsetninger. I det følgende beskrives likevel de mekanismene Searchinger m fl (2008) finner:

Når man anvender en økende mengde mais i USA til produksjon av biodrivstoff øker prisen på mais. Dette stimulerer til ytterligere maisproduksjon på bekostning

av særlig hvete og soyabønner. Følgelig øker også prisen på hvete og soyabønner, men prisøkningen blir høyest for mais.

Når en større andel av USAs jordbruksareal brukes til drivstoffproduksjon, vil USAs eksport av mat falle. Størst blir fallet i eksporten av mais, men også eksporten av soyabønner, hvete, svinekjøtt og kylling faller. Dette gjør det mer lønnsomt for bønder i andre land å øke sitt jordbruksareal for å kompensere for USAs lavere mateksport. Searchinger m fl (2008) finner at det er særlig i Brasil, Kina og India at jordbruksarealet øker som følge av bortfallet av mateksport fra USA.

Som Fargione m fl (2008) viser, er utslippene i forbindelse med arealendringer avhengige av hva slags areal som konverteres til jordbruksland, se tabell 3.2. Searchinger m fl (2008) antar at de arealendringene som finner sted i Kina, India og Brasil følger det mønsteret man så på 1990-tallet. I Brasil innebar det blant annet at deler av regnskogen i Amazonas ble hugget eller brent og anvendt til dyrking av blant annet soyabønner (Morton m fl 2006 s 14638, Sexton, 2008).⁴ Men Searchinger m fl (2008) finner det sannsynlig at karbonholdige økosystemer også i Kina og India, som følge av den reduserte mateksporten fra USA, blir omgjort til jordbruksareal, med påfølgende karbonutslipp. Forskerne finner at disse utslippene som følge av arealendringer kan være i størrelsesorden 75 til over 1000 tonn CO₂ per hektar. Til sammenligning anslår de at maisdyrking for biodrivstoffproduksjon kan gi direkte utslippsreduksjoner per på 1,8 tonn CO₂ per hektar per år, når etanolen erstatter bensin.

Searchinger m fl (2008) finner altså at via indirekte virkninger kan etanolproduksjon basert på mais gi en betydelig karbongjeld, selv om man benytter eksisterende jordbruksareal til maisdyrking. De anslår at karbongjelden først vil være tilbakebetalt etter 167 år. Før den tid har altså etanolproduksjonen basert på mais bidratt til å øke utslippene av drivhusgasser.

Tabell 3.3. Gjennomsnittlig biodrivstoffproduksjon per arealenhet for ulike vekster. Liter per hektar og milliarder Joule per hektar.

	Liter drivstoff/hektar	Milliarder Joule/hektar
Palmeolje		
Malaysia	4 736	155,8
Indonesia	4 092	134,6
Sukkerrør		
Brasil	5 475	115,5
India	4 522	95,4
Mais		
USA	3 751	79,1
Kina	1 995	42,1
Raps		
Kina	726	23,9
Canada	641	21,1
Soyabønner		
USA	552	18,2
Brasil	491	16,1

Kilde: Liska og Cassman (2008)

For diskusjonen om bruk av biodrivstoff i Norge, kan ikke studien til Searchinger m fl (2008) anvendes direkte, ettersom det meste av biodrivstoffomsetningen i Norge foreløpig er biodiesel, og det meste av denne er produsert av raps dyrket i Europa. Og som det fremgår av tabell 3.1, er også de direkte utslippene av klimagasser ved bruk av raps vesentlig lavere enn ved bruk av mais.

⁴ Morton m fl (2006 s 14638) peker også på at for eksempel i USA går økt produksjon av mais for etanolproduksjon gjerne inn på områder der det tidligere har vært dyrket soyabønner. Dermed forsterkes prisoppgangen på soyabønner, som altså forsterker avskoging i tropene.

Searchinger m fl (2008) understreker likevel at deres studie har relevans for bruk av andre typer råstoff enn mais. Det grunnleggende er at uansett er produksjon av biodrivstoff arealkrevende. Og da er det vanskelig å unngå at man kommer i konkurranse med matproduksjon slik at man får den typen indirekte virkninger som er beskrevet i Searchinger m fl (2008).

Rapsproduksjon er mer arealkrevende enn maisproduksjon, se tabell 3.3. Det er imidlertid ikke gjort studier av de indirekte effektene av rapsproduksjon etter samme metode som Searchinger m fl (2008) bruker på mais. Inntil man har gjort denne typen studier, er det vanskelig å vurdere klimaeffekten av det norske omsetningspåbudet for biodrivstoff.

Et enkelt regnestykke kan likevel illustrere at utslippseffektene av rapsbasert biodiesel kan tenkes å være lite gunstige. I henhold til Liska og Cassman (2008) er rapsproduksjon 76 % mer arealkrevende enn mais, se tabell 3.3. Mais kan antas å gi en direkte årlig utslippsreduksjon på 1,8 tonn CO₂/hektar. Ifølge Menichetti og Otto (2008) er utslippsreduksjonen 3,71 ganger større fra raps. Men ettersom raps er 76 % mer arealkrevende enn raps, betyr det at raps kan tenkes å gi en årlig direkte utslippsreduksjon på 3,8 tonn CO₂/hektar. Hvis mais tilbakebetaler en karbondjeld på 167 år med 1,8 tonn per hektar i årlig tilbakebetaling, vil den samme karbondjelden være tilbakebetalt på 79 år med raps, hvis man da gjør den forenkende antakelsen at raps har den samme typen indirekte areaeffekter som mais. I så fall må man de første 79 årene regne med at rapsproduksjon øker CO₂-problemet.

Dette regnestykket er helt skissemessig og meget usikkert. Men det illustrerer at man ikke kan utelukke at norsk biodrivstoff basert på raps dyrket i Europa, som oppfyller EUs bærekraftskriterier, indirekte kan bidra til å øke CO₂-problemet i det meste av dette århundret.

I Norge importeres det imidlertid også etanol fra Brasil, og når innblandingskravet gjøres høyere enn i dag, vil markedsandelen for etanol øke. Slik sett er det relevant at Lapola m fl (2010) har gjort en analyse av de indirekte virkningene av etanolproduksjonen i Brasil. Denne produksjonen skjer hovedsakelig på tidligere savanner og beitemarker sør i Brasil, langt fra Amazonas, og forårsaker relativt små direkte utslipp, som nevnt over. Lapola m fl (2010) peker imidlertid på at det er sannsynlig at etanolproduksjon på disse områdene sør i Brasil, via ulike markedsmekanismer indirekte fører til at man hugger og brenner regnskog i Amazonas for å gjøre dette til nytt beiteland som har gått tapt til etanolproduksjon lenger sør. På denne måten kan også etanol brukt i Norge føre til store CO₂-utslipp. Lapola m fl (2010) nevner en mulig tilbakebetalingstid på 250 år.

3.4. Kan biodrivstoff dyrkes på arealer som i dag ligger brakk?

De foregående avsnittene viser at det er et nøkkelspørsmål i bioenergidebatten i hvilket omfang det finnes arealer som ligger brakk og som kan dyrkes opp for bioenergiformål uten å komme i konflikt med matproduksjon og som heller ikke har karbonholdig jord, torv eller biomasse som vil oksideres til CO₂ ved oppdyrking. Fargione m fl (2008) understreker at biodrivstoff dyrket på visse typer arealer som ligger brakk, kan gi et gunstigere klimaregnskap fordi slike arealer i dag ofte har et lavt karboninnhold, se tabell 3.3.

Det er flere studier som konkluderer med at det finnes betydelige arealer av denne typen, selv om det er usikkert hvor store arealer det er snakk om (Campbell m fl 2008, Fargione m fl 2008, Field m fl 2007, Tilman m fl 2009, Doornbosch og Steenblik, 2007). Field m. fl. (2007), som kanskje er den grundigste studien på området, anslår på grunnlag av blant annet satellittdata at jordbruksarealer som ligger brakk utgjør 480 millioner hektar (Mha) globalt. Men samtidig anslår de at

94 Mha av det ubrukte jordbruksarealet har ligget brakk så lenge at det nå er gjengrodd med skog som er så karbonholdig at oppdyrking for bioenergiformål ikke vil gi en klimagevinst. Samlet sett anslår derfor Field m fl (2007) at et areal på 386 Mha i dag kan utnyttes til bioenergiformål uten at det fortrenger pågående jordbruksproduksjon og uten at det genereres store CO₂-utslipp når disse arealene tas i bruk. Til sammenligning er verdens totale jordbruksareal på om lag 1500 Mha, se tabell 3.4. Field m fl (2007) understreker imidlertid usikkerheten knyttet til deres estimat ved anslå at det reelle arealet som ligger brakk gjerne kan være mer enn 50 prosent større eller mindre.

Tabell 3.4. Global arealbruk i 2000

	Areal (millioner hektar)	Prosent
Skog	3 989	30
Beitemark	3 442	26
Dyrket mark	1 534	11
Byområder	40	0
Andre landområder	4 414	31
Totalt	13 418	100

Kilde: Bustamante m fl (2009).

Field m fl (2007) studerer ikke biodrivstoff spesielt, men ser på hvilken rolle arealer som ligger brakk kan spille for bioenergiproduksjon generelt. Field m. fl. (2007) antar at arealene som ligger brakk er såpass produktive at det kan gi biomasse som kan gi energi tilsvarende om lag 27 EJ/år (EJ står for Exa Joule, det vil si 10¹⁸ Joule)⁵ Det tilsvarer 5 prosent av det globale energiforbruket på 483 EJ i 2005, eller 20 prosent av dagens energiforbruk innenfor transportsektoren.⁶

Ved videreforedling av biomassen til biodrivstoff vil man imidlertid sitte igjen med mindre energi ettersom denne foredlingsprosessen som nevnt er energikrevende. Realistisk sett tyder tallene i Field m. fl. (2007) på at biodrivstoff dyrket på arealer som ligger brakk kan gi mulighet for å erstatte opptil 10 – 15 prosent av dagens energiforbruk innenfor transportsektoren. Men som vist i avsnitt 3.1, vil man i varierende grad regne med CO₂-utslipp i forbindelse med bruk av fossil energi i produksjon av biodrivstoff slik at netto nedgang utslippene fra transportsektoren gjennom utnyttelse alle arealer som ligger brakk, kan være i størrelsesorden 5 – 8 prosent. Det tilsvarer en nedgang samlede globale CO₂-utslipp rundt 2 prosent, ifølge anslagene i Field m fl (2007).

Her er det imidlertid ikke tatt hensyn til at produksjon av biomasseenergi på degradert jordbruksland kan ha den motsatte effekten av avskoging, ved at man øker økosystemets karbonlager (Tilman m fl 2006, Fargione m fl 2008). Tar man dette inn i regnestykket, vil netto nedgang i globale CO₂-utslipp ved å ta i bruk degenerert jordbruksland være høyere enn anslaget på 2 prosent.

Men som Field m fl (2007) skriver, er uansett det globale potensialet for bioenergi-produksjon relativt begrenset og kan ikke spille en stor rolle dersom forbruket av fossile brensler skal reduseres vesentlig, selv om man klarer å ta i bruk alt ubrukt jordbruksland på kloden. Field m fl (2007) peker også på at klimagevinsten kanskje kan være enda større ved å etablere skog på slike arealer og la skogen vokse og

⁵ Field m fl (2007) kommer frem til dette tallet ved å anslå at halvparten av den biomassen som årlig produseres, det vil si 0,6 Gt karbon, er over bakken og dermed kan utnyttes til energiformål. Videre antar de at karbonet utgjør 45 prosent av denne biomassen, og at tørr biomasse har et energiinnhold på 20 kJ/g.

⁶ Konklusjonene i Field m fl (2007) er i rimelig samsvar med studien til Gurgel m fl (2007). Gurgel m fl (2007) anvender MITs globale simuleringsmodell IGSM i et scenario der man anvender 1,4 – 1,5 Gha, et område omtrent på størrelse med dagens totale jordbruksareal, se tabell 3.4, for produksjon av råstoff til andre generasjons biodrivstoff basert på celluloseholdig biomasse, og anslår at det vil det kunne gi 128 – 141 EJ/år i 2050. Til sammenligning anslår man at verdens energiforbruk i 2050 vil ligge på rund 500 – 1000 EJ/år (Bustamente m fl 2009).

fange og lagre karbon i stedet for å ta ut trevirke med tanke på bioenergiproduksjon (se også Righelato og Spracklen 2007).

De ulike studiene viser altså at det i prinsippet er mulig å produsere betydelige mengder biodrivstoff, men det er arealkrevende. Skal man nøye seg med arealer som i dag ligger brakk, blir produksjonen relativt begrenset. Spørsmålet er dessuten om også bruk av arealer som i dag ligger brakk etter hvert ville blitt anvendt til matvareproduksjon, dersom de ikke blir anvendt til biodrivstoffproduksjon. Man har en økende global befolkning som på grunn av økende velstand vil etterspørre stadig mer mat. Spørsmålet er om denne produksjonsøkningen kan skje innenfor eksisterende jordbruksareal. FAO (2003) legger til grunn at det kan være mulig å oppnå en årlig produktivitetsvekst i landbruket på 1 prosent. Field m fl (2008) mener dette kan være noe optimistisk. Men uansett vil en såpass begrenset produktivitetsvekst, ifølge FAO (2003) trolig gjøre det nødvendig med en betydelig ekspansjon av globalt jordbruksareal bare for å dekke et økende matbehov som følger av befolkningsvekst og økende velstand.

4. Diskusjon og oppsummering

4.1. Vil bruk av biodrivstoff i Norge øke eller redusere globale CO₂-utslipp?

En samlet vurdering av de studiene som er gjennomgått i denne rapporten, tyder på at i et perspektiv på noen tiår frem i tid, er det sannsynlig at økt bruk av biodrivstoff i Norge vil øke globale utslipp. Årsaken er at økt bruk av biodrivstoff vil føre til at nye dyrkingsområder blir etablert ulike steder på kloden og dermed føre til utslipp knyttet til arealendringer som beskrevet i Fargione m fl (2008) og Searchinger m fl (2008). Hvis utslippene knyttet til arealendringene er i den størrelsesorden som disse to studiene finner, vil også økt bruk av for eksempel rapsbasert biodiesel, som brukes mye i Norge, kunne gi økte utslipp i det meste av det 21. århundre. Men her er usikkerheten stor ettersom det ikke foreligger publiserte modellstudier som viser den indirekte utslippseffekten av vekster som raps, som er et viktig råstoff for det biodrivstoffet som brukes i Norge. Det er imidlertid få eller ingen publiserte forskningsarbeider som gir grunn til å tro at økt bruk av biodrivstoff vil gi en utslippsreduksjon de nærmeste tiårene.

Usikkerheten, og de kompliserte ringvirkningene man står overfor, kan illustreres med et eksempel. En vesentlig del av den biodiesel som importeres til Norge er laget av raps i Europa. Samtidig er om lag 5 – 7 prosent av all biodiesel konsumert i EU laget av palmeolje i sørøst-Asia (Hooijer m fl 2006). Dersom EU øker sin eksport av rapsbasert biodiesel til Norge, er det fare for at EU i større grad må basere seg på importert biodiesel. Det kan følgelig føre til at EUs import av biodiesel laget av palmeolje øker. Slik sett er det sannsynlig at økt bruk av rapsbasert biodiesel i Norge, via ulike markedseffekter, fører til økt import av biodiesel laget av palmeolje til Europa.

Som påpekt i blant andre Fargione m fl (2008) forårsaker palmeoljeproduksjon til dels svært høye CO₂-utslipp. Om bare en liten del av økt norsk forbruk av biodiesel blir kompensert med økt produksjon av palmeolje, kan det følgelig gi et meget uheldig klimaregnskap for det norske tiltaket. Vi har følgelig ingen garanti for at økt bruk av rapsbasert biodiesel i Norge vil gi reduserte globale CO₂-utslipp. Basert på nevnte studier virker det motsatte mer sannsynlig.

Den typen indirekte virkninger som her er beskrevet – der økt norsk forbruk av biodiesel produsert i Europa, gir økt produksjon av palmeolje i tropisk regnskog – er bare ett eksempel på en mulig kjede av uoversiktlige indirekte virkninger av bruken av biodrivstoff i Norge.

Som pekt på i denne rapporten, er det imidlertid betydelige arealer som ligger brakk. Field m fl (2007) anslår at det globalt samlet er arealer på litt i underkant av 400 Mha (tilsvarende ca 20 prosent av globalt jordbruksareal) som i dag ligger brakk og som har så lavt karboninnhold i jord og vegetasjon at man ikke vil få store CO₂-utslipp ved å begynne dyrking. På disse arealene kan i prinsippet produksjonen av biodrivstoff ekspandere betydelig uten av det fører til store engangsutslipp. Tvert imot vil det kunne bidra til at en del slike arealer fanger og lagrer CO₂ og etter hvert vil utgjøre et større karbonlager.

Det er imidlertid årsaker til at disse arealene ligger brakk i dag. Sannsynligvis snakker man om arealer som er mindre produktive, har en uheldig beliggenhet eller på andre måter er mindre velegnet for planteproduksjon enn de arealer som er i bruk, eller de arealer som i dag faktisk blir foretrukket når nytt jordbruksland dyrkes opp, for eksempel de tropiske regnskogsarealer som i dag blir lagt under plogen. Hvis det ikke var noen slike årsaker til at arealer ligger brakk, ville disse arealene i dag blitt foretrukket fremfor nedhugging av for eksempel tropisk regnskog. Gibbs m fl (2010) under streker at nytt jordbruksareal i stor grad har blitt tatt i tropisk regnskog i de siste tiårene. Det er derfor ingen grunn til å tro at

generelle virkemidler, som for eksempel subsidiering og omsetningspåbud, vil føre til at vesentlige deler av det biodrivstoffet vi etterspør blir dyrket på arealer som i dag ligger brakk. Her må man heller se på analyser av den typen som Searchinger m.fl. (2008) har presentert, som skisserer realistiske scenarier for hva som *faktisk* skjer når man etterspør mer biodrivstoff i industrilandene. Og da står for eksempel tropisk regnskog i faresonen.

Men det er altså riktig at det er store arealer som ligger brakk. Problemet er hvordan man i en verdensøkonomi som ikke er sentralstyrt, skal utforme virkemidler som sørger for at det er på disse arealene man dyrker biodrivstoff, og ikke på andre områder der det blir store engangsutslipp av CO₂. Med den typen virkemidler som Norge bruker for å stimulere til biodrivstoffproduksjon, er det for eksempel ingenting som gir produsentene spesielle incentiver til å ta i bruk karbonfattige arealer som ligger brakk.

Men selv om man mot formodning skulle klare å kanalisere all produksjon av biodrivstoff til arealer som ligger brakk, er det begrenset hva man kan oppnå. Som påpekt i avsnitt 3.4, vil en effektiv utnyttelse av alle arealer på kloden som i dag ligger brakk, neppe bidra til en global utslippsreduksjon på mer enn rundt 2 prosent, ifølge anslagene i Field m fl (2007).

4.2. Bærekraftskriterier

Ettersom det er klart at det både finnes biodrivstoffproduksjon som gir økte utslipp og biodrivstoffproduksjon som kan bidra til reduserte utslipp i hvert fall på litt sikt, blir spørsmålet om bærekraftskriterier kan sikre at norske forbrukere kun får kjøpt biodrivstoff av sistnevnte sort. I den forbindelse er det også relevant at EU har bærekraftskriterier som skal sikre at biodrivstoff ikke er produsert på arealer der regnskog eller torvland er kuttet ned for bioenergiformål. Hvis dette systemet fungerer, skal det følgelig ikke bli importert biodiesel basert på palmeolje som i produksjonen har gitt store CO₂-utslipp. Dessuten har alle de norske oljeselskapene egne regler som skal sikre at det biodrivstoffet de produserer eller importerer er produsert "bærekraftig", det vil si er produsert med signifikant lavere CO₂-utslipp en fossilt drivstoff. I et brev til Miljøverndepartementet datert 2/9 2010 foreslår dessuten KLIF at det innføres bærekraftskriterier for alt biodrivstoff omsatt i Norge fra 1/1 2011.

Et av problemene med bærekraftskriterier er knyttet til indirekte utslippseffekter av biodrivstoffproduksjon. EU har ikke inkludert indirekte virkninger i sine bærekraftskriterier, og det er heller ikke inkludert i forslaget fra KLIF. Man kan følgelig ikke basere seg på disse kriteriene om man vil gardere seg mot de indirekte virkningene av produksjonen av biodrivstoff. Og uansett vil det være vanskelig å utforme og implementere bærekraftskriterier som sikrer mot indirekte utslippseffekter.

Searchinger (2010) illustrerer problemene knyttet til bærekraftskriterier og indirekte effekter med utgangspunkt i palmeoljeproduksjon: En palmeoljeprodusent i for eksempel Indonesia, som både selger til matvaremarkedet og til drivstoffmarkedet, kan tenkes å ha en plantasje på et område som ble gjenstand for avskoging for så lenge siden at oljen derfra vil passere EUs forslag til bærekraftskriterier. Men fordi etterspørselen etter biodiesel øker, er denne plantasjeeieren i ferd med å avskoge et nytt område regnskog for å etablere en ny palmeoljeplantasje. Denne nye plantasjen, som altså er forårsaket av den økte etterspørselen etter biodiesel, vil ikke gå klar av EUs bærekraftskriterier, ettersom den forårsaker at det oppstår en stor karbondjeld, jfr. tabell 3.2. Dette er imidlertid ikke noe problem for denne palmeoljeprodusenten. Han vil nå skaffe seg to tanker for biodiesel. Utenpå den ene skriver han "mat" og på den andre skriver han "biodiesel". På sistnevnte tank fyller han palmeolje fra den gamle plantasjen, mens olje fra den nye plantasjen fylles på tanken merket med "mat". Oljen fra tanken merket med "biodiesel" blir godkjent for eksport til EU.

Produksjonen av denne bondens matolje⁷, som altså skjer på tidligere regnskogsareal og gir store CO₂-utslipp, ville ikke skjedd dersom det ikke var etterspørsel etter biodiesel. På grunn av etterspørselen etter biodiesel, forårsaker altså denne plantasjeieren store CO₂-utslipp. Men likevel går han klar både av EUs bærekraftskriterier og KLIFs forslag til norske bærekraftskriterier.

Dette illustrerer hvordan det norske omsetningspåbudet for biodrivstoff i praksis kan føre til at nye palmeoljeplantasjer etableres i torvholdig regnskog, og dermed fører til store CO₂-utslipp som det vil ta mange århundrer å "betale tilbake". Det vil ikke kunne forhindres om Norge innfører bærekraftskriterier, slik KLIF nå foreslår.

Resonnementet over er av kvalitativ karakter. I en utredning for det svenske Finansdepartementet presenterer Wibe (2010) egne numeriske beregninger der han konkluderer med at det svenske etanolprogrammet har ført til økte CO₂-utslipp og at globale CO₂-utslipp ville vært lavere om Sverige ikke hadde satset på biodrivstoff. Det er ikke gjort tilsvarende beregninger når det gjelder det norske programmet for innfasing av biodrivstoff. Foreløpig er det derfor vanskelig å trekke konklusjoner om hva som er den globale utslippseffekten av bruk av biodrivstoff i Norge. Men det er ikke grunn til å regne med at norsk bruk av biodrivstoff ikke gir noe vesentlig gunstigere utslippsbilde enn den svenske bruken.

4.3. En totalvurdering av biodrivstoff

Som Field m fl (2007) understreker har biomasse i prinsippet potensial til å erstatte fossil energi gjennom utnyttelse av arealer som i dag ligger brakk, slik at biodrivstoffproduksjon kan skje uten å true biologisk mangfold og fortrenge matproduksjon. Men samtidig finner Field m fl (2007) at mengden arealer som ligger brakk er såpass begrenset at biodrivstoff fra slike områder ikke kan komme til å spille noen vesentlig rolle i energiforsyningen til transportsektoren, eller energisektoren for øvrig. I følge anslagene presentert i avsnitt 3.4, vil biodrivstoff dyrket på alle arealer som i dag ligger brakk, erstatte maksimalt 5 – 8 prosent av globalt drivstofforbruk i dag. Og det vil kunne redusere globale utslipp med rundt 2 prosent.

Field m. fl. (2007), s. 69, konkluderer (min oversettelse) med at produksjon av råstoff til biodrivstoff utenfor disse arealene "gir risiko for å true matvaresikkerhet, ødelegge verneverdige områder, og øke avskoging".

Med en generell virkemiddelbruk som stimulerer biodrivstoffproduksjon uansett hvor den skjer, er det grunn til å tro at biodrivstoffproduksjon ikke bare vil skje på områder som ligger brakk, men også blant annet på områder som ellers ville blitt anvendt til matproduksjon og på områder som i dag har et rikt biologisk mangfold (Sala m fl 2009). Og denne typen problemer vil typisk forverres med den oppskalering av produksjonen av biodrivstoff som nå skjer fordi konkurranseflaten mot matproduksjon blir stadig sterkere og ledige arealer blir stadig mer begrensede.

Samtidig er utslippseffektene av bruk av biodrivstoff usikre. Når man tar hensyn til den nyeste forskningen knyttet til utslipp ved arealendringer og indirekte utslippseffekter, virker det mest sannsynlig at det norske forbruket av biodrivstoff så langt har bidratt til økte globale CO₂-utslipp, og at dette vil være resultatet i flere tiår fremover.

Selv om biodrivstoff i dag dekker under to prosent av energiforsyningen til transportsektoren, legger det beslag på hele 5 prosent av den globale kornproduksjonen. En videre opptrapping, slik Norge og mange andre land planlegger, vil etter hvert føre til at stadig større arealer blir brukt til dyrking av råstoff til biodrivstoff. Bustamente (2009) anslår som en illustrasjon at dersom EU skal dekke 10 prosent av sitt drivstofforbruk med biodrivstoff dyrket på egne

⁷ Palmeolje brukes også som råstoff til blant annet såpe.

jordbruksarealer, må de bruke 70 prosent av sitt totale jordbruksareal til dette formålet. Dette kommer naturligvis ikke til å skje. Men det illustrerer størrelsesorden på den arealbruken man må operere med.

4.4. Virkemiddelbruken

I Norge er det nå et omsetningspåbud for biodrivstoff på 3,5 prosent og andelen planlegges økt til 5 prosent fra 1. juli 2011. Samtidig er både etanol og biodiesel fritatt for CO₂-avgift. Høyinnblandet etanol er også fritatt for veibruksavgift, mens biodiesel betaler halv veibruksavgift⁸.

Når det gjelder veibruksavgifter, anbefaler særavgiftsutvalget at disse legges også på biodrivstoff. Grunnen er at dette er en type avgift som både har som formål å sikre finansiering av offentlige fellesoppgaver og sikre at bilbrukere betaler for veislitasje, lokal luftforurensning, støy med mer. Følgelig er det ingen grunn til at biodrivstoff skal fritas fra veibruksavgifter.

Det har imidlertid blitt brukt som argument for fritaket fra veibruksavgift at det skal stimulere til en raskere innføring av biodrivstoff. Som vi har sett gjennom denne rapportens litteraturgjennomgang, er det imidlertid usikkert om innføring av biodrivstoff gir lavere CO₂-utslipp. I første omgang, og i relativt mange år fremover, er det mer trolig at man vil få en utslippsøkning. Omsetningspåbudet bør derfor revurderes, også fordi omsetningspåbud neppe er en god løsning i kombinasjon med subsidier (Eggert og Greaker 2009).

Når det gjelder CO₂-avgiften, så er det som påpekt innledningsvis ingen land som har CO₂-avgift på bioenergi. Men flere viktige studier, for eksempel Searchinger m fl (2009), peker på den uheldige incentivstrukturen som oppstår når det kun er CO₂-utslipp fra fossil energi som pålegges CO₂-avgift, mens CO₂-utslipp fra bioenergi fritas fra den typen virkemidler. Denne politikken kan føre til et overforbruk av bioenergi og for mye tømmerhogst, noe som både er uheldig i et klimaperspektiv og for biologisk mangfold.

Det vil være et bedre system om alle CO₂-utslipp prises likt, enten kilden er bioenergi eller fossil energi. Men da bør man samtidig subsidiere fangst og lagring av CO₂ i vegetasjon og jord. Konsekvensen av økt kunnskap på dette feltet er at flere forskere nå tar til orde for at man må slutte å betrakte bioenergi som CO₂-nøytralt og at det vil være riktig å sette den samme prisen på CO₂-utslipp fra bioenergi som man har på CO₂-utslipp fra fossile kilder (Searchinger m fl 2009, Wise m fl 2009, Pingoud mfl 2010, Friedland og Gillingham 2010). Når det er kostnadsfritt å generere CO₂-utslipp ved forbrenning av biomasse, samtidig som det settes en pris på CO₂-utslipp fra fossile kilder, vil man få overutnyttelse av biomasse som energikilde og en forflytning av deler av karbonet lagret i landjordens vegetasjon og jord til atmosfæren.

Når det gjelder biodrivstoff, vil det administrativt sett være ukomplisert å pålegge CO₂-avgift. En innføring av for eksempel halv CO₂-avgift på biodrivstoff kan derfor enkelt gjennomføres. Det er større utfordringer knyttet til subsidiering av lagring av karbon i vegetasjon og jord. Som understreket av blant andre Friedland og Gillingham (2010), er kunnskapen om hvordan menneskelig aktivitet påvirker utvekslingen av karbon mellom jord og atmosfære mangelfull. Og om den hadde vært mer fullstendig, ville man uansett mest sannsynlig stått overfor alvorlige måleproblemer også når det gjelder utviklingen i vegetasjonens karbonlager på den enkelte eiendom. Men skattesystemer har normalt innslag av sjablongmessig beregning av ulike skattegrunnlag. En sjablongmessig beregning av naturlig fangst og lagring av CO₂ vil slik sett ikke nødvendigvis være et fremmedelement i skattesystemet. Men det bør utredes nærmere hvordan dette kan gjennomføres.

⁸ Mer presist er det etanolblandinger med bensin der bensin ikke utgjør hovedbestanddelen som er fritatt for veibruksavgift.

Avslutningsvis bør det pekes på at biodrivstoff, ved siden av elektrisitet, med rette blir sett på som det eneste reelle alternative til fossile drivstoffer i transportsektoren. Utslippsgevinsten av økt bruk av elektriske biler er imidlertid usikker, og uansett liten, så lenge kull er den viktigste energikilden innenfor kraftsektoren. Dermed kan konklusjonen i denne rapporten, om at biodrivstoff kan komme til å øke, ikke redusere CO₂-utslippene, reise et spørsmål om hva som da er alternativet til fossile drivstoff.

Svaret på det spørsmålet er at man de nærmeste tiårene må regne med at fossil olje vil være hovedkilden til energi i transportsektoren. Konklusjonen blir følgelig at dersom man ønsker å redusere utslippene fra transportsektoren, må CO₂-utslippene prises høyere. Mens subsidiering av biodrivstoff vil gi en usikker CO₂-gevinst på lang sikt, og mest trolig vil gi økte CO₂-utslipp i en mellomperiode, vil høyere prising av CO₂-utslipp fra transportsektoren helt sikkert gi reduserte utslipp både på kort og lang sikt. Ethvert utslippsmål kan nås om man setter CO₂-prisen tilstrekkelig høy. Økte priser på CO₂-utslipp fra transportsektoren vil ikke bare føre til redusert transport. Det vil også stimulere produsenter av kjøretøyer til å utvikle enda mer energieffektive motorer og på etterspørselssiden vil kundene i større grad velge kjøretøy med lavere energiforbruk.

4.5. Behandlingen av biodrivstoff i Klimakur 2020

I Klimakur 2020 fremstår biodrivstoff som det viktigste tiltaket for reduserte klimagassutslipp i Norge. Dette står i kontrast til konklusjonene i denne rapporten. Dette bør avslutningsvis kommenteres.

Mandatet til Klimakur-gruppen var å se på utslippsreduksjoner i Norge helt isolert. Klimakur ser derfor i all hovedsak bort fra at biodrivstoff brukt i Norge gjennom produksjonskjeden og gjennom arealendringer og indirekte virkninger kan ha forårsaket store CO₂-utslipp, og at satsingen på biodrivstoff i Norge følgelig i virkeligheten mest sannsynlig gir økte globale CO₂-utslipp, fordi dette er utslipp som skjer i utenfor Norge.

Av samme grunn er ikke sentrale forskningsbidrag som Searchinger m fl (2008) og Fargione m fl (2008) nevnt i Klimakur. Likevel inneholder Klimakur-rapporten en kort diskusjon av de globale utslippseffektene av biodrivstoff. På side 92 i Klimakur heter det for eksempel at første generasjons biodrivstoff gir en reell utslippsreduksjon på 30 – 50 prosent dersom man tar hensyn utslipp i forbindelse med produksjon, og at dette tallet er 90 prosent for andre generasjons biodrivstoff.

Det materialet som er gjennomgått i denne rapporten kan tyde på at Klimakur her tegner et for pent bilde av biodrivstoff. Dersom man begrenser seg til å inkludere direkte utslipp (utenom lystgass) knyttet til produksjon av biodrivstoff, er en utslippsreduksjon i den størrelsesorden Klimakur nevner rimelig, jfr. tabell 3.1. Men som dokumentert gjennom studier som Searchinger m fl (2008) og Fargione m fl (2008), gir dette bare en del av bildet. Tar man hensyn til utslipp av lystgass, og utslipp ved arealendringer og indirekte virkninger, er det mer trolig at økt bruk av biodrivstoff i første omgang gir økte globale utslipp. Ingen av de studiene som er gjort av indirekte utslippseffekter opererer med så kort tilbakebetalingstid at man kan regne med å se en klimagevinst av biodrivstoff i 2020, som er det sentrale mållåret for Klimakur. Heller ikke i 2030 kan man regne med å høste klimagevinster av biodrivstoff. Derimot vil man i det tidsperspektiv som Klimakur opererer med regne med at økt bruk av biodrivstoff mest trolig vil forsterke klima-problemene, ikke redusere dem.

Referanser

- Behrenfeld, M.J., J.T. Randerson, C.R. McClain, G.C. Feldman, S.O. Los, C.J. Tucker, P.G. Falkowski, C.B. Field, R. Frouin, W.E. Esaias, D.D. Kolber, N.H. Pollack. (2001) Biospheric primary production during an ENSO transition. *Science* 291, 2594-2597.
- BP (2009) Statistical Review of World Energy. bp.com/statisticalreview.
- Bustamante, M.M.C., H. Watson, J. Melillo, D.J. Connor, H. Hardy, E. Lambin, H. Lotze-Campen, N.H. Ravindranath, T.D. Searchinger, and J. Tschirley (2009) What are the Final Land Limits? I R. W. Howarth og S. Bringezu (ed) *Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use. Proceedings of the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE). International Biofuels Project Rapid Assessment (Gummersbach September 2008, Ithaca NY, Cornell University Press)*, pp. 271-291
- Campbell, J.E., D.B. Lobell, R. C. Genova, C. B. Field (2008): The global potential of bioenergy on abandoned agriculture lands. *Environmental Science & Technology* 42: 5791 – 5794.
- Crutzen, P. J., A. R. Mosier, K. A. Smith, and W. Winiwarter, (2007) N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 7, 11191–11205.
- Doornbosch, R. and R. Steenblik (2007). *Biofuels: Is the cure worse than the disease?* OECD-document.
- Eggert, H., og M. Greaker (2009) On blending mandate, border tax adjustment and import standards for biofuels. Working papers in economics no 422. Økonomisk institutt, Universitetet i Göteborg.
- FAO (2003) World agriculture: towards 2015/2030. Earthscan.
- Fargione, J., J. Hill, D. Tilman, S. Polasky, P. Hawthorne (2008) Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science* 319: 1235-1238.
- Farrell, A. E., R. J. Plevin, B. T. Turner, A. D. Jones, M. O'Hare, D M Kammen (2006) Ethanol can contribute to energy and environmental goals. *Science* 311:506 – 508.
- Field, C. B., E. Campbell and D. B. Lobell (2007) Biomass energy: the scale of the potential resource. *Trends in Ecology & Evolution* 23: 65-72.
- Friedland, A.J., K.T. Gillingham (2010) Carbon Accounting a Tricky Business. *Science* 327: 411-412.
- Gibbs, H.K., A.S. Ruesch, F. Achard, M.K. Clayton, P. Holmgren, N. Ramankutty, J.A. Foley (2010) Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *Proceedings from the National Academy of Sciences* 107: 16732-16737.
- Gurgel, A. J. M. Reilly, and S. Paltsev (2007) Potential Land Use Implications of a Global Biofuels Industry, *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization* 5: 1 – 34.
- Hill, J., E. Nelson, D. Tilman, S. Polasky, D. Tiffany (2006): Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *Proceedings from the National Academy of Sciences* 103, 11206-11210.

- Holtmark, B. (2010a) Om tømmerhogst og klimanøytralitet. *Økonomiske analyser* 3/2010.
- Holtmark, B. (2010b) Om hogst og hogstavfall i en skog som legger på seg. Artikkel på forskning.no 25.8.2010.
- Hooijer, A., H. Wösten, M. Silvius, S. Page (2006) Assessment of CO₂ emissions from drained peatlands in South-east Asia. Delft Hydraulics report Q3943.
- Howarth, R. W. S. Bringezu, L. A. Martinelli, R. Santoro, D. Messem, O. E. Sala (2009): Introduction: Biofuels and the Environment in the 21st Century. I R. W. Howarth og S. Bringezu (ed) *Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use*. Proceedings of the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE). International Biofuels Project Rapid Assessment (Gummersbach September 2008, Ithaca NY, Cornell University Press), s 15 – 36.
- Klimakur 2020 (2010): Tiltak og virkemidler for å nå norske klimamål mot 2020, Klima- og forurensningsdirektoratet, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oljedirektoratet, Statistisk sentralbyrå, Statens vegvesen. *Rapport TA2590*
- Lapola, D.M., R. Schaldach, J. Alcamo, A. Bondeau, J. Koch, C. Koelking, and J.A. Priess (2010) Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. *Proceedings from the National Academy of Sciences* 103, 11206-11210.
- Laurance, W.F., A.K. Albernaz, P.M. Fearnside, H.L. Vasconcelos, L.V. Ferreira (2004) Deforestation in Amazonia. *Science* 304: 1109-1111.
- Liska, A. J. and K. G. Cassman (2008). Towards Standardization of Life-Cycle Metrics for Biofuels: Greenhouse Gas Emissions Mitigation and Net Energy Yield. *Journal of Biobased Material and Bioenergy* 2, 187 – 203.
- Melillo, J.M., J.M. Reilly, D.W. Kicklighter, A.C. Gurgel, T.W. Cronin, S. Paltsev, B.S. Felzer, X. Wang, A. P. Sokolov, C.A. Schlosser (2009) Indirect Emissions from Biofuels: How important? *Science* 326: 1397-1399.
- Menichetti, E. og M. Otto (2009) Energy Balance & Greenhouse Gas Emissions of Biofuels from Life Cycle Perspective. I R. W. Howarth og S. Bringezu (ed) *Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use*. Proceedings of the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE). International Biofuels Project Rapid Assessment (Gummersbach September 2008, Ithaca NY, Cornell University Press), pp. 81-109.
- Morton D.C., R.S. DeFries, Y.E. Shimabukuro, L.O. Anderson, E. Arai, F. del Bon Espirito-Santo, R. Freitas, and J. Morissette (2006) Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon, *Proceedings from the National Academy of Sciences* 103 39: 14637-14641.
- NOU 2007:8. En vurdering av særavgiftene.
- O'Hare, M., R.J. Plevin, J.I. Martin, A.D. Jones, A. Kendall, E. Hopson (2009) Proper accounting for time increases crop-based biofuels' greenhouse gas deficit versus petroleum. *Environmental Research Letters* 4, 1-7.
- OECD (2008) Biofuel Support Policies. An Economic Assessment. OECDpublishing.

Pingoud, K., A. Cowie, N. Bird, L. Gustavsson, S. Rüter, R. Sathre, S. Soimakallio, A. Türk, S. Woess-Gallash (2010) Bioenergy: Counting on Incentives. *Science* 327: 1199-1200.

Righelato, R., and D.V. Spracklen (2007) Environment: carbon mitigation by biofuels or by saving and restoring forests? *Science* 317, 902.

Sala, O. E., D. Sax, og H. Leslie (2009): Biodiversity Consequences of Increased Biofuel Production. I R. W. Howarth og S. Bringezu (ed) Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use. Proceedings of the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE). International Biofuels Project Rapid Assessment (Gummersbach September 2008, Ithaca NY, Cornell University Press), pp. 127-137.

Searchinger T. D. mfl (2009): Fixing a Critical Climate Accounting Error, *Science* 326, 527-528.

Searchinger T. D., R. Heimlich, R.A. Houghton, F. Dong, A. Elobeid, J. Fabiosa, S. Tokgoz, D. Hayes, T. Yu (2008): Use of U.S Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gas Through Emissions from Land-Use Change, *Science* 319, 1238-1240.

Searchinger, T. D. (2009): Government Policies and Drivers of World Biofuels, Sustainability Criteria, Certification Proposals and their Limitations. I R. W. Howarth og S. Bringezu (ed) Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use. Proceedings of the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE). International Biofuels Project Rapid Assessment (Gummersbach September 2008, Ithaca NY, Cornell University Press), s 37 – 52.

Searchinger, T. D. (2010) Biofuels and the need for additional carbon. *Environmental Research Letters* 5: 1-10.

Sexton, S., D. Rjagopal, D. Zilberman, G. Hochman (2008): Food versus Fuel: How Biofuels Make Food More Costly and Gasoline Cheaper. Agricultural and Resource Economics Update. Giannini Foundation of Agricultural Economics, University of California.

The International Energy Outlook 2010. US Energy Information Administration (<http://www.eia.gov/oiaf/ieo/index.html>)

Tilman, D., J. Hill, C. Lehman (2006) Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass. *Science* 314, 1598-1600.

Tilman, D., R. Socolow, J.A. Foley, J. Hill, E. Larson, L. Lynd, S. Pacala, J. Reilly, T. Searchinger, C. Somerville, R. Williams (2009) Beneficial Biofuels – The Food, Energy, and Environment Trilemma. *Science* 325: 270-271.

Wibe, S. (2010) Etanolens koldioxid effekter. Rapport til Expergruppen for miljøstudier. Det svenske Finansdepartementet.

Wise, M., K. Calvin, A. Thomson, L. Clarke, B. Bond-Lamberty, R. Sands, S.J. Smith, A. Janetos, J. Edmonds (2009) Implications of Limiting CO₂ Concentrations for Land Use and Energy. *Science* 324: 1183-1186.

Figurregister

- 2.1. Utvikling i produksjonsvolum for biodrivstoff (biodiesel og etanol) fra 1975 til 2007 10
- 2.2. Utvikling i CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren fra januar 2000 til august 2010..... 12

Tabellregister

2.1. Biodrivstoffproduksjon etter land. Mtoe 2007	10
3.1. Gjennomsnittlig anslått reduksjon i bruk av fossil energi og utslippsreduksjon ved overgang til biodrivstoff i de studier som er gjennomgått i Menichetti og Otto (2009). ¹ Utslipp fra arealendringer og indirekte virkninger er ikke medregnet.....	13
3.2. Tilbakebetalingstid for karbongjeld i ulike biodrivstoffprosjekter.....	15
3.3. Gjennomsnittlig biodrivstoffproduksjon per arealenhet for ulike vekster. Liter per hektar og milliarder Joule per hektar.	16
3.4. Global arealbruk i 2000	18