

Biodrivstoff: hva er netto klimaeffekt? - en oversikt over nyere forskning

Karin Ibenholt

Vista Analyse 9. mars 2011

Dokumentdetaljer

Vista Analyse AS	Rapport nummer 2011/6
Rapporttittel	Biodrivstoff: hva er netto klimaeffekt? - en oversikt over nyere forskning
ISBN	978-82-8126-019-1
Forfatter	Karin Ibenholt
Dato for ferdigstilling	9. mars 2011
Prosjektleder	Karin Ibenholt
Kvalitetssikrer	John Mange Skjelvik
Oppdragsgiver	Samferdselsdepartementet
Tilgjengelighet	Offentlig
Publisert	PDF
Nøkkelord	Biodrivstoff, klimagasser, arealendringer, karbon

Forord

På vegne av Samferdselsdepartementet har vi gjennomgått nyere litteratur om klimaeffektene av og kostnader for ulike typer av biodrivstoff. Litteraturen om biodrivstoff er meget omfattende og blir stadig utvidet, og en fullstending gjennomgang av denne litteraturen har ikke vært mulig innenfor prosjektet. Vi har isteden konsentrert oss om den litteratur som vi oppfatter som mest sentral og sitert.

Maja Grøtting og Simen Sletsjø har bistått med innhenting av litteratur.

Eventuelle feil og mangler er Vista Analyses ansvar.

9 mars 2011

Karin Ibenholt

Prosjektleder

Vista Analyse AS

Innhold

Forord	3
1 Hovedpunkter	6
2 Om biodrivstoff	7
2.1 Hva er biodrivstoff	7
2.2 Utfordringer knyttet til økt bruk av biodrivstoff	8
3 Er biomasse klimanøytralt?	10
4 Utslipp i produksjonen	12
4.1 Produksjonsutslipp	12
4.2 Bruken av kunstgjødsel	13
4.3 Utslipp ved transport av råvarer og biodrivstoff	13
4.4 Tredje generasjons biodiesel	14
4.5 Totale utslipp i produksjonen	15
5 Arealendringer	17
5.1 Direkte arealendringer	17
5.2 Indirekte effekter	18
5.3 Drøfting	22
6 Kostnader	24
6.1 Råvarekostnader	24
6.2 Produksjonskostnader	25
6.3 Samlede kostnader	27
6.4 Forventet prisutvikling	28
6.5 Priseffekt av økt satsing på biodrivstoff	30
7 Oppsummering og diskusjon	31
Referanser	33

1 Hovedpunkter

Nyere forskning og litteratur om biodrivstoff viser at det er stor usikkerhet knyttet til hvorvidt biodrivstoff har en positiv klimaeffekt sammenlignet med konvensjonelle drivstoff, i hvert fall på kort sikt. Da det er stor enighet om at det haster å redusere utslippene av klimagasser kan en storstilt satsing på bioenergi, og da spesielt drivstoff, vise seg å være kontraproduktivt.

Det er tre grunner til at klimaeffekten sannsynligvis er lavere enn tidligere antatt:

- produksjon av biodrivstoff er vesentlig mer energikrevende enn konvensjonelle drivstoffer, og krever i tillegg kunstgjødsel i dyrkingen som resulterer i utslipp av lystgass som har en klimaeffekt som er 300 ganger sterkere enn CO₂.
- økt etterspørsel etter biodrivstoff vil føre til endret arealbruk som kan medføre at store mengder karbon som er bundet i jordsmonnet og evt. i trær som hugges for å ta i bruk arealene til biodrivstoff blir frigjort. Dette gir en karbongjeld som det kan ta mange år å betale tilbake.
- alle typer bioenergi er ikke klimanøytralt på kort sikt. Dette gjelder spesielt skog hvor det kan ta mer enn 100 år å akkumulere tilsvarende mengde CO₂ som slippes ut ved brenning av et tre.

Den første effekten er det forholdsvis enkelt å beregne, og ta hensyn til i bærekraftskriterier for biodrivstoff. De to andre effektene hersker det vesentlig større usikkerhet omkring, bl.a. knyttet til metoder for å beregne disse utslippene, hva som er netto-virkninger på arealbruken (spesielt hvis produksjonen av biodrivstoff skjer i stor skala), hvilke ressurser (plantelag og marktype) man ser på og hvordan utslippene påvirkes av uttak og skjøtsel av ressursene. Denne usikkerheten gjør at det er vanskelig, og kanskje heller ikke hensiktsmessig, å beregne totale utslipp av klimagasser fra ulike typer biodrivstoff.

Beregningene av klimagassutslipp fra biodrivstoff i Klimakur og Kyotoprotokollen tar ikke hensyn til punkt 2 og 3 ovenfor. Dette betyr at de med all sannsynlighet overvurderer potensialet for reduserte utslipp ved økt bruk av biodrivstoff. Enkelte forskere hevder at effekten til og med kan være negativ, dvs. at utslippene fra produksjon av biodrivstoff kan være større enn de utslipp man sparer fra redusert bruk av konvensjonelle drivstoff. Men det finnes også de som hevder at effektene fra arealendringer ikke er så store, og at de i tillegg kan reduseres gjennom bedre dyrkingsmetoder. Et annet uavklart spørsmål er hvor mye (midlertidige) utslipp fra hugging av trær o.l. i dag med påfølgende gjenplantning og binding over mange framtidige år egentlig betyr for klimaendringer på lang sikt.

En løsning på problemet kan være å håndtere klimagassutslippene likt, uansett om de kommer fra bruk av bioenergi eller konvensjonelle (dvs. fossile) energikilder, men samtidig ta hensyn til at vegetasjon og mark tar opp CO₂. Sistnevnte er det som nevnt stor usikkerhet om, men det er mulig å bruke sjablonberegninger for dette. Det vil også være viktig med lovgivning, og ikke minst håndheving av eksisterende lover, som hindrer at verdifulle naturområder som utgjør store naturlige karbonlager tas i bruk til dyrking – enten det er for å dyrke planter til biodrivstoff, mat eller fôr.

2 Om biodrivstoff

Biodrivstoff har kommet sterkt i fokus de senere årene, bl.a. som følge av klimautfordringene. Grunnen til dette er at biomasse regnes som klimanøytralt ettersom det inngår i den naturlige karbonsyklusen, dvs. at utslippene av CO₂ ved forbrenning av biomassen er lik den mengde CO₂ som planten har tatt opp fra atmosfæren i vekstprosessen.

Både i norsk klimapolitikk og i mange andre land blir introduksjon av biobaserte drivstoff i markedet sett på som et viktig tiltak for å redusere utslippene av klimagasser. I Norge er det et omsetningspåbud for biodrivstoff på 3,5 prosent, dvs. et påbud om at minst 3,5 prosent av all omsetning av drivstoff skal bestå av biobasert drivstoff. Det ligger for tiden et forslag om å øke denne satsen til 5 prosent fra 1. juli 2011.

Bakgrunnen for målsettingene om økt bruk av biodrivstoff er både den antatt positive (eller rettere sagt nøytrale) klimaeffekten, men også at biodrivstoff kan representere interessante muligheter for økt næringsaktivitet i jord- og skogbruksområder, dvs. bidra til sysselsetting, og øke den nasjonale forsyningssikkerheten alternativt redusere avhengigheten av fossile energiresurser.

2.1 Hva er biodrivstoff

Biodrivstoff består av bioetanol og biodiesel, hvor førstnevnte kan erstatte konvensjonell bensin og sistnevnte konvensjonell diesel. Både bioetanol og biodiesel kan produseres basert på en mengde ulike råvarer og ved bruk av flere forskjellige produksjonsmetoder. Det er vanlig å dele inn produksjonsmetodene i hhv. første og annen generasjon. Av og til snakker man også om en tredje generasjon, som er drivstoff basert på alger.

Første generasjons biodrivstoff er etanol og biodiesel produsert fra olje-, sukker- eller stivelsesrike jordbruksvekster. Produksjonen av etanol er hovedsakelig basert på sukker fra sukkerrør og -roe, og stivelse fra mais, hvete og poteter. Etanol er primært en bensinerstatning, og kan brukes fra 5 prosent innblanding til ren vare. Produksjonen av biodiesel er hovedsakelig basert på raps-, soya- og palmeolje. Biodiesel er en diesel-erstatning, og kan brukes i ren form eller blandes med diesel.

Annen generasjons biodrivstoff, eller morgendagens biodrivstoff, er basert på celluloseholdig biomasse. Det kan produseres av trevirke/treavfall, halm, ulike typer gressvekster m.m. Produksjonsprosessen er teknologisk mer avansert enn første generasjon og det vil drøye flere år før annen generasjons biodrivstoff vil være kommersielt tilgjengelig.

Tredje generasjons biodrivstoff er til stor del basert på mikroalger. Dette er encellede, fotosyntetiske organismer som lever i vann. Under optimale forhold produserer de betydelig mer biomasse per areal og tid enn noen landplante man kjenner til. Andre tredje generasjons biodrivstoff er ulike typer alkoholer, for eksempel bio-propanol eller bio-butanol, men her har man foreløpig ikke noen erfaring med produksjon og disse blir derfor ikke regnet med å være kommersielt tilgjengelige før 2050 (OECD/IEA 2008).

2.2 Utfordringer knyttet til økt bruk av biodrivstoff

Som nevnt blir forbrenning av biomasse (i transport eller stasjonær forbrenning) regnet som klimanøytralt. Denne forutsetningen er det imidlertid alt flere som er begynt å sette spørsmålstegn ved. Forutsetningen for at biomasse skal være klimanøytralt er at uttak av planter (biomasse) for bruk til bioenergi blir erstattet med nyplantering av tilsvarende mengde biomasse, og at det ikke skjer et netto uttak av biomasse. Men det tar tid før en ny plante å vokse opp og ta opp i seg den CO₂ som ble sluppet ut ved forbrenningen. Hvor lang tid varierer svært fra plante til plante – noen planter har meget kort livssyklus (mindre enn 1 år), mens andre – spesielt treer – kan ha en livssyklus på over 100 år. I et perspektiv hvor det haster å redusere klimagassutslippene vil det ikke gi noen gevinst å høste treer for hvilke det vil ta lang tid før netto-utslippene er null.

Andre utfordringer knyttet til bruk av biomasse er for eksempel:

- klimagassutslipp i produksjonen av biodrivstoffet, pga av høyt forbruk av kunstgjødsel, som gir utslipp av NO_x, og energibehov både til transport og produksjon. Videre kan bruk av nye landområder medføre utslipp av karbon som har vært bundet i jordsmonnet.
- fortrenging av matproduksjon, som kan bidra til økte matpriser hvilket kan være et problem i fattige land.
- effekter på biologisk mangfold gjennom at nye områder tas i bruk hvilket kan ødelegge enkelte habitater. Andre miljømessige utfordringer er for eksempel vannforbruk ved dyrking, som kan resultere i forringet vannkvalitet.

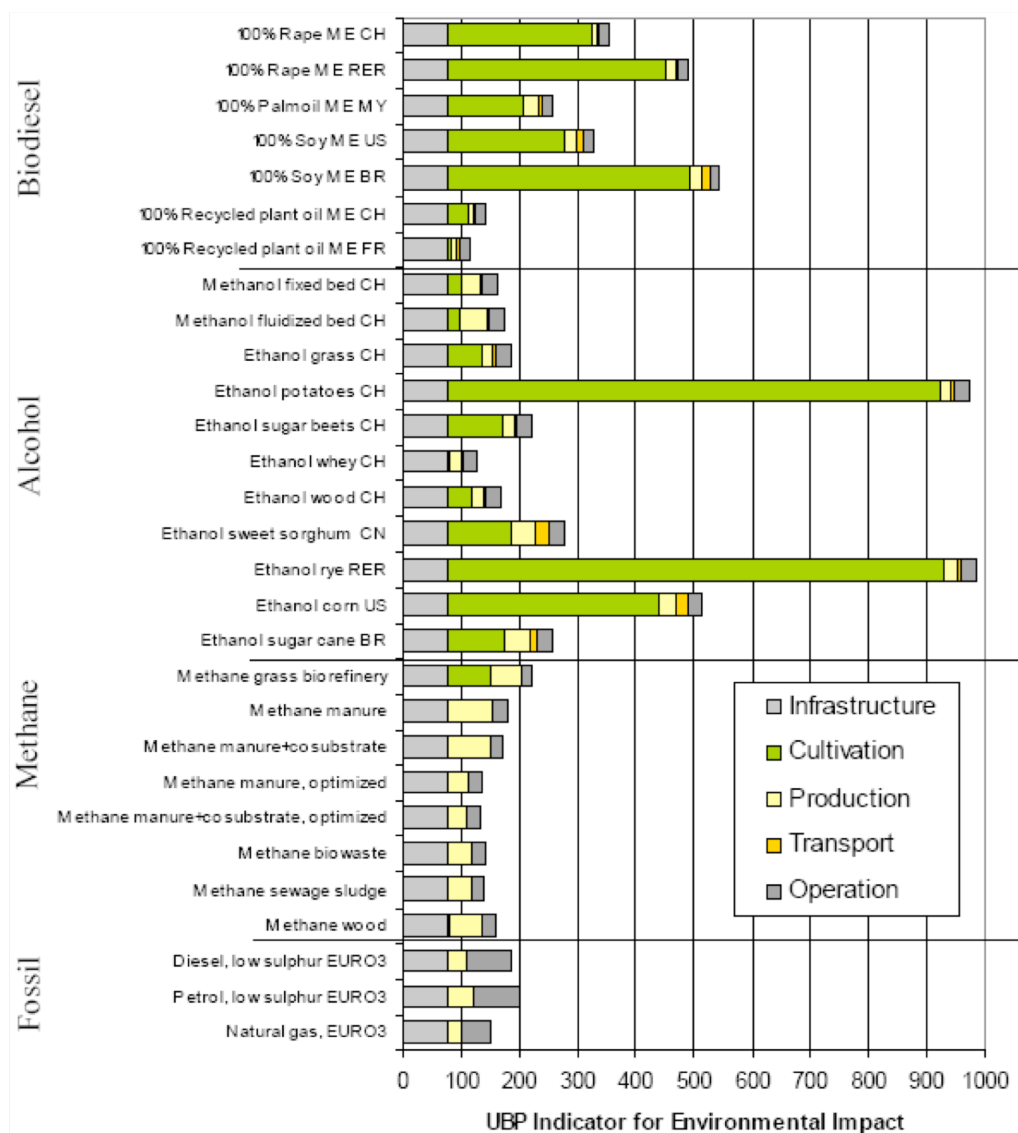
I denne rapporten ser vi nærmere på nyere forskning knyttet til hvorvidt biomasse faktisk er klimanøytralt samt det første kulepunktet om klimagassutslipp i hele verdikjeden for biodrivstoff. I verdikjeden inkluderer vi også endringer i arealbruken (land-use changes, LUC), et tema har stått i fokus i mange forskningsartikler de siste årene.

For en drøfting av andre utfordringer knyttet til økt uttak av biomasse se for eksempel Framstad m.fl (2009) og Dornbusch og Steenblik (2008). Framstad m.fl. (2009) ser på effekter på biodiversitet, landskap, friluftsliv og kulturminner av økt høsting av biomasse til bioenergiformål i Norge, Sverige og Finland. De konkluderer med at de negative effektene i stor grad avhenger av hva man høster (for eksempel har hogstavfall vesentlig mindre negative effekter enn høsting av stubber) og hvor man gjør det (bruk av områder under kraftlinjer, langs veier og på marginal jordbruksmarker vil ha mindre negative effekter enn bruk av skogområder som for tiden ikke drives).

Dornbusch og Steenblik (2008) ser primært på den klimamessige utfordringene knyttet til bruk av biomasse, dvs. utslipp i produksjonen og grunnet endringer i arealbruk, men inkluderer også en drøfting av andre miljøutfordringer. De viser bla. til en studie av det sveitsiske instituttet EMPA (Zah m.fl., 2007), hvor det ble gjennomført fullstendige livsløpsanalyser (life cycle assessment, LCA) av en lang rekke biodrivstoff, og hvor det miljømessige (eller økologiske) fotavtrykket deretter ble sammenlignet med fotavtrykket for konvensjonelle drivstoff. Det miljømessige fotavtrykket inkluderer helse-skader, skader på økosystem og uttak av naturressurser, og blir uttrykt i en felles indikator, UBP (Umwelt Belastungs Punkte), se figur 2.1. De miljømessige effektene ved bruk av et kjøretøy er mye større ved bruk av konvensjonelle drivstoffer, men dette blir

i mange tilfeller motvirket av store negative effekter ved jordbruksproduksjonen. Disse skadene stammer fra forsuring av jorden, bruk av kunstgjødsel, tap av biodiversitet, luftforurensninger fra brenning av vegetasjon for å rydde nytt land og bruk av bekjempningsmidler. De former for biodrivstoff som har et mindre fotavtrykk enn konvensjonelle drivstoff er ulike drivstoff basert på avfall og noen former for trevirke. Videre er det mulig å redusere fotavtrykket for de andre biodrivstoffene, for eksempel gjennom dyrkingsmetoder hvor det brukes mindre kunstgjødsel og bekjempningsmiddel. De ulike bærekraftskriteriene som er utviklet for biodrivstoff har bl.a. til hensikt å sikre at disse miljømessige utfordringene er så små som mulig.

Figur 2.1 Sammenligning av miljøeffekter av ulike typer av drivstoff. UBP (Umweltbelastungspunkte)



Kilde: Zah m.fl. (2007)

En annen viktig utfordring knyttet til biodrivstoff er kostnadene, foreløpig er produksjonskostnadene vesentlig høyere enn kostnadene for bensin og diesel. I kapittel 6 presenterer vi derfor noen kostnadsanslag og forventninger knyttet til fremtidig kostnadsutvikling.

3 Er biomasse klimanøytralt?

Biomasse inngår i det naturlige karbonkretsløpet, dvs. at det karbon som frigjøres ved brenning tas opp igjen når plantene eller trærne vokser til. Som nevnt er dette begrunnelsen for at biomasse blir antatt for å være klimanøytralt. I Klimakonvensjonen og Kyotoprotokollens regelverk blir biomasse vurdert basert på denne forutsetningen, og det er også utgangspunktet for anbefalingene i Klimakur.

For hurtigvoksende planter, dvs. den type som brukes til produksjon av første generasjons biodrivstoff, er dette resonnemanget gyldig. Men for mange planter tar det forholdsvis lang tid å ta opp samme mengde CO₂ som frigjøres. Dette gjelder spesielt for trær, dvs. den type råvare som er aktuell for produksjon av annen generasjon biodrivstoff og som det kan være aktuelt for Norge å produsere. Holtsmark (2010a, 2011) viser at ettersom det kan ta 70-120 år fra det at man feller et tre til dess at erstatnings-treet har akkumulert et like stort karbonlager, vil hogst av trær for bioenergi gi en netto økning av CO₂-utslipp i omtrent like lang tid. En permanent økning av avvirkningen vil redusere lageret av død og levende biomasse i skogen. Ifølge Holtsmark (2010a) spiller dynamikken knyttet til hogstavfall og naturlig døde trær en viktig rolle for eventuelle klimagevinster av bioenergi. Økt hogst vil for eksempel kreve lavere omløpstid i skogen (dvs. at trærne hogges raskere enn tidligere), og dette fører til at skogens karbonlager blir redusert. Beregningene presentert i Holtsmark (2010a) viser at det å erstatte fossil diesel med syntetisk biodiesel fra norsk trevirke vil gi en betydelig økning av nettoutslippene av klimagasser gjennom hele det kommende århundret.

Holtsmark (2010a) er blitt kritisert fra en rekke hold, se bl.a. Sellæg (2010) og Solberg og Sjølie (2010). De peker bl.a. på at det er valgt et stilisert eksempel hvor det bl.a. hogges langt mer enn tilveksten i skogen, mens vi i Norge i dag hugger mindre enn halvparten av tilveksten. Dessuten ser Holtsmark (2010a) bort fra at hogst gir flere ulike kvaliteter samtidig (skurtømmer, massevirke, og energivirke) som fordeles til ulike typer videreforedling i markedet, og at det bare er hogstavfall som benyttes til energiformål. Videre ser beregningene bort fra at mye av den norske hogstmodne skogen er glissen og utnytter markas produksjonsevne dårlig. Dersom denne skogen hogges og den nye skogen skjøttes godt vil karbonopptaket øke betydelig over tid. Sælleg (2010) og Solberg og Sjølie (2010) hevder at avvirkningen i Norge kan økes uten at det stående volumet reduseres permanent, og at klimagevinsten av økt avvirkning drastisk undervurderes i Holtsmark (2010).

Klima- og forurensningsdirektoratet, Klif, har nettopp publisert en rapport om bruk av norsk skog som bioenergiressurs, se Klif (2011). I denne rapporten utgår man fra resonnemanget til Holtsmark, dvs at det er en tidsforskyvning til utslippene fra brenning av trevirket er tatt opp igjen av ny skog. På oppdrag av Klif har Norsk institutt for skog og landskap, NISK, utarbeidet en modell som viser karbonlager i levende biomasse, jord, strø og død ved for et typisk granbestand. Modellen kan brukes til å beregne hvor lang tid det tar før karboninnholdet i atmosfæren etter avvirkning er tilbake til samme nivå som om det ville vært dersom det ikke ble avvirket. I Klif (2011) presenteres flere scenarioer hvor man har variert forutsetningene om blant annet uttak av hogstavfall og anvendelse av biomassen og beregnet tilbakebetalingstiden ved hjelp av modellen.

Den korteste tilbakebetalingstiden har bruk av hogstavfall, som grener og topper (GROT), til energiformål, med en estimert tilbakebetalingstid på 5–15 år, avhengig av

anvendelse. Å bruke hogstavfallet til varmeproduksjon (stasjonær energi) vil gi lavest tilbakebetalingstid, pga. en høy substitusjonseffekt, mens det å lage biodrivstoff av hogstavfallet vil gi den lengste tilbakebetalingstiden. Modellen ser kun på et enkelt uttak av hogstavfall, men Klif anslår at et permanent uttak av 70 prosent av hogstavfallet vil bety at tilbakebetalingstiden kan bli opp til dobbelt så lang.

Å øke avvirkingen for å produsere energi vil ha en tilbakebetalingstid på ca 90 år (ved en enkel avvirkning), mens en permanent økning vil øke tilbakebetalingstiden.

Ifølge Klif (2011) er modellresultatene i samsvar med andre studier, hvor de bl.a viser til Zanchi m.fl (2010), Rørstad m.fl. (2010) og Holtsmark (2010a).

Klif drøfter også måter å redusere tilbakebetalingstiden, herunder skogskjøtselstiltak som bidrar til en større tilvekstrate og raskere karbonlagring. Aktuelle skogskjøtsels-tiltak inkluderer økt plantetetthet, skogplanteforedling og gjødsling.

Hvorvidt man kan kalle biomasse for en klimanøytral energikilde avhenger dermed av tidshorisonten man opererer med og hvilken type biomasse det er snakk om.

4 Utslipp i produksjonen

De faktorer som har betydning for de direkte utslippene fra produksjon av biodrivstoff, hvis man ser bort fra utslipp grunnet arealbruken, er effektiviteten i produksjonsprosessene, bruken av fossile energikilder og bruken av kunstgjødsel.

4.1 Produksjonsutslipp

Utslippene i produksjonen avhenger av hvor effektiv prosessen er og hvilke energikilder som brukes. Effektiviteten er bl.a. knyttet til hvor store mengder råstoff som kreves for å produsere en liter drivstoff og til energibehovet. Det å produsere flytende drivstoff fra biomasse er en vesentlig mer energikrevende prosess enn det å produsere fossil basert drivstoff. Omvandlingsprosessen fra biomasse til drivstoff har som regel en virkningsgrad på 30-40 prosent (Wibe, 2010), mens tilsvarende tall for fossile drivstoffer er 93 prosent (dvs. at 1 MJ biomasse kun erstatter ca 0,4 MJ råolje). Det å bruke biomassen til oppvarmingsformål, hvor foredlingsgraden er vesentlig lavere, vil gi en vesentlig større substitusjonseffekt.

I de tilfeller produksjonen resulterer i ulike former for biprodukter, for eksempel elektrisitet eller dyrefor, vil dette kunne bidra positivt i klimaregnskapet. IEA (2004) viser for eksempel at produksjon av ulike biprodukter kan redusere netto utslipp av drivhusgasser fra produksjon av etanol fra mais med mellom 5 og 15 prosent.

Ifølge IEA (2004) utgjør det totale forbruket av fossile energivarer sjelden mer enn 20 prosent av energiinnholdet i kornbasert etanolen, dvs. at produksjon og bruk av 1 liter etanol typisk erstatter 0,8 liter bensin på energiekvivalent basis. Det skjer imidlertid store effektivitetsforbedringer i nye anlegg, og det er derfor grunn til å tro at andel fossile energivarer i produksjonen i dag er lavere enn 20 prosent. Produksjon av bio-etanol fra sukkerrør i Brasil skjer i hovedsak ved hjelp av fornybare innsatsfaktorer, og dette gjør at energibruken i produksjonen ikke har særlig betydning for klimagassregnskapet (JRC, 2007).

Noen nyere studier som ser på utslipp i produksjonsprosessen er Field m.fl. (2007), Menichetti og Otto (2009) og Searchinger m.fl. (2008). Field m.fl. (2007) beregnet at energiforbruket i produksjon og transport av etanol basert på mais tilsvarende 80 prosent av energiinnholdet i etanolen. Tilsvarende tall for konvensjonelle drivstoff er 7-10 prosent. De to andre studiene (Menichetti og Otto (2009) og Searchinger m.fl. (2008)) viser også at den direkte utslippsreduksjonen ved å erstatte bensin med etanol fra mais er om lag 20 prosent. Etanol laget av sukkerrør er mindre energiintensiv, dvs. at dette gir en større gevinst enn mais. Menichetti og Otto (2009) viser til syv studier, hvorav seks anslår en utslippsreduksjon på godt over 80 prosent hvis bensin blir erstattet med sukkerrørsbasert etanol. Dette er i overenstemmelse med JRC (2007) og BEST (2009) som begge viser at klimagassbesparelsen for sukkerrørsetanol i forhold til fossile drivstoff er om lag 80 prosent, medregnet utslipp fra produksjon og distribusjon.

Biodiesel er mindre energikrevende å fremstille enn etanol, og betydningen av fossil energibruk i produksjonen er derfor langt mindre. Hvor stor utslippsreduksjon man får ved bruk av biodiesel basert på raps isteden for konvensjonell diesel er imidlertid usikkert. De studier som er gjennomgått i Menichetti og Otto (2009) gir et spenn på fra 80 prosent helt ned til 20 prosent, men med en opphopning rundt 40-60 prosent. Ifølge JRC (2007) gir biodiesel basert på raps en klimagassbesparelse på om lag 45 prosent,

mens Klimakur (Klif, 2010) og ISCC (2009) regner med at rapsdiesel har en klimaeffekt på omtrent 50 prosent. De direkte utslippene ved produksjon av palmeolje er det også stor usikkerhet knyttet til, for eksempel viser de studier som Menichetti og Otto (2009) gjennomgått anslag varierende fra mindre enn 10 opp til 70 prosents utslippsreduksjon.

4.2 Bruken av kunstgjødsel

Utslipp av N_2O , som er en klimagass med over 300 ganger sterkere effekt enn CO_2 , ved jordbruksaktiviteter og bruk av kunstgjødsel er svært usikkert, men kan potensielt gi store utslipp. Størrelsen på utslippene avhenger av en lang rekke faktorer, herunder mengde kunstgjødsel, jordtype, klima, vegetasjon og dyrkingsmetoder. Det er ikke mulig å på generelt grunnlag si noe om forventede utslipp.

IPCC (2007) antar at utslippene av lystgass er proporsjonale med bruken av kunstgjødsel, men regner satmtidig med at type jord, klima og vegetasjon er viktigere enn omfanget av kunstgjødselbruken. Flere nyere studier viser imidlertid at disse utslippene kan være større enn tidligere antatt, og de faktisk kan bidra til at et ellers positivt klimaregnskap blir negativt for enkelt typer biodrivstoff. Crutzen m.fl. (2007) hevder for eksempel at IPCC har undskattet utslippene av N_2O med en faktor på 3-5. En empirisk undersøkelse av forholdene i EU, JRC (2008), viser også at utslippene av N_2O er høyere enn hva IPCC har anslått, men allikevel ikke så store som Crutzen m.fl. (2007) antar.

Melillo m.fl. (2009) bruker en modell for å beregne de miljømessige konsekvensene av utvidet global produksjon av cellulosebasert biodrivstoff frem mot 2100. De ser bl.a. på utslipp knyttet til arealendringer, se nærmere omtale i kapittel 5, men også hvordan bruken av kunstgjødsel bidrar til økte utslipp av N_2O . Det ekstra kunstgjødsel som kreves for å produsere biomassen vil resultere i N_2O -utslipp som blir til dels vesentlig større uttrykt i CO_2 -ekvivalenter enn karbonutslippet fra direkte og indirekte arealbruk. De peker imidlertid på at beste praksis for bruk av nitrogengjødsel kan redusere N_2O -utslippene, men de gir ikke noe anslag på hvor stor denne reduksjonen kan være.

Zentner m.fl (2011) viser hvordan endret dyrkingspraksis kan bidra til å redusere utslippene fra dyrkingen. De sammenligner total energibruk effektivisering ved tre metoder ulike dyrkingsmetoder: konvensjonell jordbearbeiding med "anbefalt" bruk av kunstgjødsel og plantevernmidler, redusert jordbearbeiding og redusert bruk av gjødsel og plantevernmidler og økologisk dyrking, dvs. konvensjonell jordbearbeiding, bruk av nitrogenbindende planter og ikke-kjemiske bekjempning av ugress og skadedyr. Videre analyserer de ulike metoder for planterotasjon (dvs. dyrking av forskjellige planter hvert år på et og samme område). Studien ble gjennomført i perioden 1996-2007 i Kanada. Økologisk dyrking resulterte i 50 prosent lavere energiforbruk, hvor den største reduksjonen stammet fra det faktum at man ikke brukte kunstgjødsel og plantevernmidler. Men samtidig oppnår man lavere avlinger ved økologisk drift, dvs. at energi-produksjonen ble lavere. Allikevel ble energieffektiviteten (målt som energiproduksjon-/energiforbruk) ved økologisk dyrking med årlig planterotasjon høyere enn for de mer konvensjonelle dyrkingsmetodene.

4.3 Utslipp ved transport av råvarer og biodrivstoff

Ifølge IEA (2004) har transport av råvarer og ferdig drivstoff liten betydning for de samlede klimagassutslippene. Grunnen til dette er at svært mye av dette transporteres med skip, hvor energiforbruket er svært lite målt per liter transportert drivstoff.

Funnene i IEA (2004) bekreftes av JRC (2007), hvor det konkluderes med at de fossile innsatsfaktorene i transport ikke spiller noen avgjørende rolle i klimaregnskapet for biodrivstoff.

4.4 Tredje generasjons biodiesel

Ahmed m.fl (2010) diskuterer tre generasjoner biodiesel i lys av eksisterende forskning, og vurderer mulighetene for fremtidig bærekraftig produksjon. Deres analyse peker på at det kun er mikroalger, dvs. tredje generasjon, kan utvinnes bærekraftig.

Mikroalger har en høy fotosyntetisk virkningsgrad, dvs. at de for en gitt mengde fotosyntes produserer mer biomasse enn andre aktuelle planter. Dette betyr at de vokser svært hurtig sammenlignet med konvensjonelle avlinger.

Mikroalger har både lave klimagassutslipp og konkurrerer i svært liten grad med matproduksjon. Kun med hjelp fra litt vann, noen næringsstoffer og karbondioksid, vokser mikroalger med energi fra sola. De kan lett dobles i antall på en dag, enkelte stammer av mikroalger kan doble størrelsen i løpet av timer. Mikroalger er dermed det råstoffet som kan gi klart høyest produksjon av biodrivstoff. Ahmed m.fl (2010) hevder at mikroalger har evne til å produsere flere millioner liter biodiesel pr dekar og år, mens tilsvarende tall for palmeolje kun er omtrent 6.000 liter pr dekar.

Problemet ved produksjon av mikroalger er en avveining mellom produksjonen av biomasse og oljeinnholdet i denne massen, pga at mikroalger i prinsippet enten vokser (produserer biomasse) eller akkumulerer olje (produserer olje). Enn så lenge er dette en flaskehals som begrenser mulighetene for å øke den totale produksjonen av olje. Det pågår imidlertid forskning på mulighetene for å forbedre denne prosessen. Basert på eksisterende forskning, presenterer Ahmed m.fl. (2010) følgende fordeler med dyrkning av mikroalger som råstoff til biodiesel:

- Forbedret effektivitet og reduserte kostnader. Kostnadene forbundet med høsting og transport av mikroalger er relativt lave sammenlignet med annen biomasse.
- Mikroalger konkurrerer ikke etter land med avlinger som brukes til matproduksjon, fôr og andre produkter.
- Mikroalger kan dyrkes i en rekke miljøer som er uegnet for dyrking av andre vekster, slik som fersk-, brakke- eller saltvann eller på landområder som er uegnet for konvensjonelt landbruk. I tillegg kan de dyrkes på gårder eller i bioreaktorer. Derfor kan mikroalger produsere en overlegen avkastning per hektar, 25 ganger høyere enn avkastningen av tradisjonell biodieselavlinger, som palmeolje.
- De vanligste mikroalgene har et oljeinnhold på 20 til 50 prosent av vekten av tørre biomasse, hvilket er på linje med, eller endog lavere enn planter som brukes for første og annen generasjon. Det er imidlertid mulig å øke oljeinnholdet til opp mot 70 prosent som er vesentlig høyere enn alternativene.
- Mikroalger produsere verdifulle biprodukter som biopolymerer, proteiner, karbohydrater og rester av biomasse, som kan brukes som fôr eller gjødsel. I tillegg krever dyrking av mikroalger ikke sprøytemidler eller plantevernmidler.

Ahmed m.fl. (2010) konkluderer med at teoretisk sett har dyrking av mikroalger et svært høyt potensial, men at det trengs mer forskning for å finne hvilke typer mikroalger som er best egnet for produksjon, og deretter for utvikle dem til kommersielle produkter.

4.5 Totale utslipp i produksjonen

Wibe (2010) bruker modellen GREET¹ for å beregne utslipp av klimagasser fra produksjonen av ulike typer av etanol uttrykt i gr CO₂-ekvivalenter pr km transportarbeid, og finner at hvis en bare ser på utslippene i produksjonen vil etanol fra mais ha nesten tre ganger så høye utslipp som bensin (hhv. 121 og 47 gram), mens etanol fra energivekster (som for eksempel salixgress) dyrket på jordbruksmark kun gir et utslipp på 29 gram. Grunnen til at energivekster har et så lavt utslipp sammenlignet med mais er at det forutsettes at energibehovet i produksjonen dekkes ved bruk av planten selv. De totale utslippene av klimagasser i produksjon og forbrenning av drivstoffet beregnet i Wibe (2010) er gjengitt i tabell 4.1. Beregningene viser at hvis man ikke tar hensyn til utslipp fra arealbruken så har etanol et mer positivt klimaregnskap enn bensin, men at gevinsten ved bruk av maisbasert etanol kun er 20 prosent, mens den er nesten 80 prosent ved bruk av etanol fra sukkerrør.

Tabell 4.1 Utslipp og opptak av klimagasser for ulike typer etanol, ekskl. utslipp ved arealbruk. gr CO₂-ekvivalent pr km transportarbeid

Drivstoff	Produksjon	Forbrenning	Opptak ¹	Sum
Bensin	58	220	0	278
Etanol fra mais	193	215	-188	221
Etanol fra andre energivekster	54	215	-188	83
Etanol fra sukkerrør	60	215	-215	60

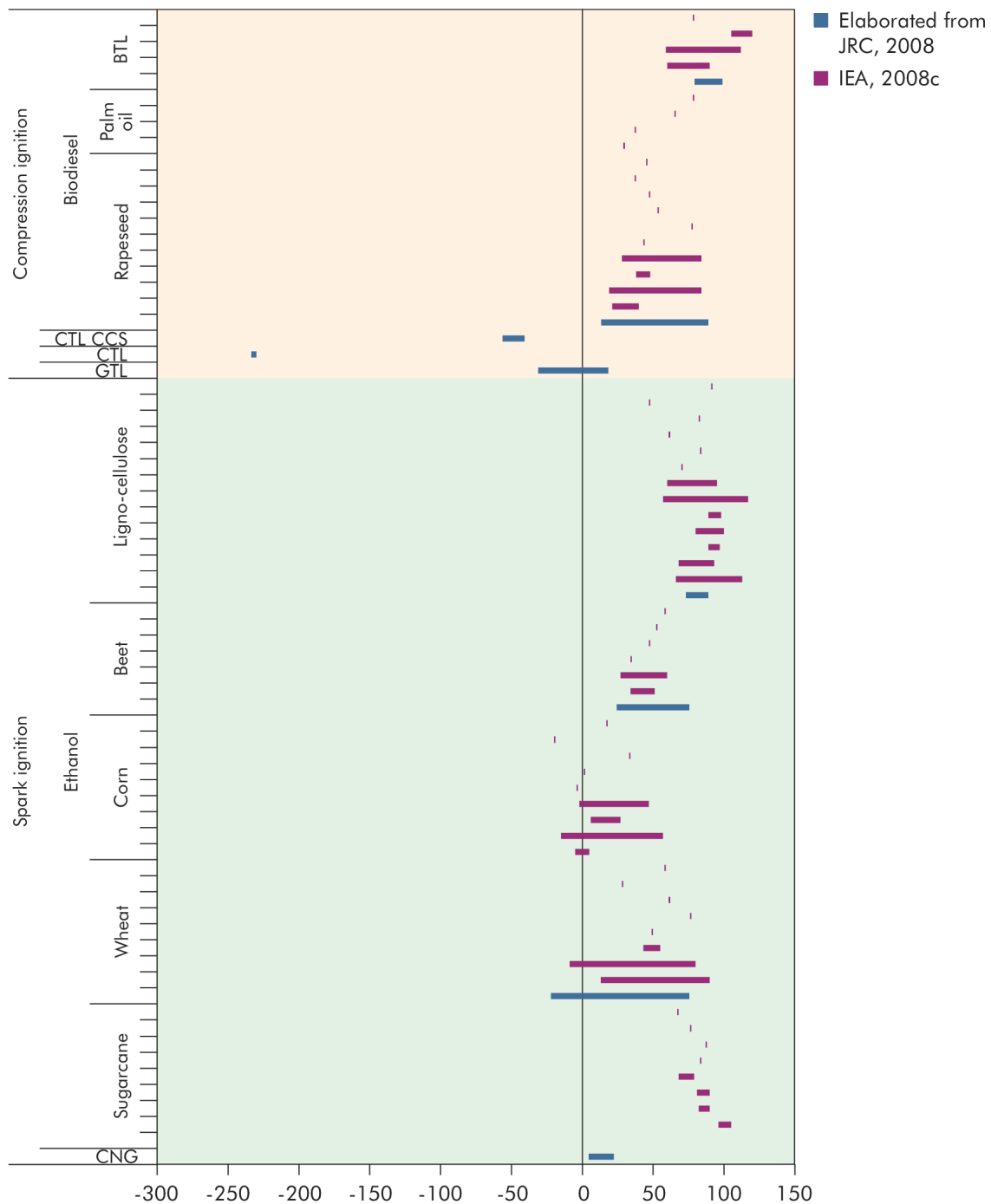
¹ At opptak er mindre enn forbrenning skyldes beregningstekniske forhold, hvor utslipp fra kunstgjødsel og transport i dyrkingen er inkludert i tallet for opptak. Alternativt kunne dette isteden ha vært inkludert i tallet for produksjon. Netto utslipp er korrekt.

Kilde: Wibe (2010)

IEA (2009) sammenligner en mengde ulike typer av drivstoff, og ser bl.a. på mulighetene for bruk av disse drivstoffene for ulike typer av transportslag. Studien inkluderer for eksempel produksjonskostnader (se kapittel 6) og klimagassutslipp. Figur 4.1 viser well-to-wheel (fra åker til bilen) utslipp, hvor man har tatt hensyn til bruk av kunstgjødsel og utslipp i produksjonen av dette gjødslet, men ikke tatt hensyn til eventuelle utslipp ved arealbruk. Figuren viser at det er ulike typer av cellulosebasert etanol (dvs. annen generasjon), BTL (Biomass to Liquid, også annen generasjon) og sukkerrør (første generasjon etanol) som gir de største besparelsene sammenlignet med konvensjonelle drivstoff. I prinsippet alle biodrivstoff (de lilla i figur 4.1) har et positivt klimaregnskap sammenlignet med konvensjonelt drivstoff, med unntak av noen typer mais- eller kornbasert etanol.

¹ GREET står for Greenhouse gases, regulated emissions and energy use in transportation, se for eksempel www.transportation.anl.gov/modeling_simulation/GREET

Figur 4.1 Wheel-to-wheel utslipp av klimagasser for en rekke drivstoff sammenlignet med konvensjonelle drivstoff. Utslipp ekskl. arealendringer. Prosent avvik fra konvensjonell drivstoff (målt i CO₂-ekvivalenter/MJ drivstoff)



Kilde: IEA (2009)

Basert på foreliggende forskning kan man konkludere med at de aller fleste former for biodrivstoff har et positivt klimaregnskap sammenlignet med konvensjonelle drivstoffer hvis man ikke tar med utslipp pga arealbruken. For noen typer biodrivstoff er imidlertid gevinsten svært marginal. Betydningen av arealendringer drøfter vi i neste kapittel.

5 Arealendringer

I de senere år har det blitt viet økt oppmerksomhet mot at arealendringer (også kalt LUC, land use changes) kan ha stor betydning for totale utslipp av klimagasser for biodrivstoff. Dette er spesielt aktuelt hvis dyrking av planter for produksjon av biodrivstoff fortrenger skog og annen naturlig vegetasjon (inkludert torv- og myrområder) som utgjør et større karbonlager enn de planter som skal brukes til bioenergi. Hvis dette er tilfelle vil overgang til energiplanter gi et stort utslipp av klimagasser som det kan ta mange år å utligne (nøytralisere). Ofte benevnes dette forholdet som bioenergiens karbondjeld.

Dyrking av energivekster er som regel svært arealkrevende. Det å konvertere areal til dyrking av disse vekstene kan gi store engangsutslipp av CO₂ og ikke nødvendigvis større årlig opptak etterpå. Dette er den direkte effekten av arealendringer. I tillegg vil det være indirekte effekter, for eksempel ved bruk av eksisterende jordbruksareal som fortrenger matproduksjon. Matproduksjonen vil da flyttes til andre og nye arealer, som kan bety store engangsutslipp av CO₂. Ved oppskalering spres denne virkningen globalt gjennom markedene. Denne prosessen vil samtidig mest sannsynlig føre til økte matvarepriser, som i sin tur kan medføre høyere produktivitet og dermed redusere arealkonfliktene og karbondtapet.

Det er spesielt to artikler som har satt sitt preg på diskusjonen om utslipp fra endret arealbruk de siste åren, Fargione m.fl. (2008) og Searchinger m.fl. (2008), hvor førstnevnte ser på de direkte arealendringene, mens sistnevnte også inkluderer indirekte arealendringer. Nedenfor redegjør vi kort for resultatene i disse studiene, pluss flere andre studier som også har sett på de indirekte arealendringene.

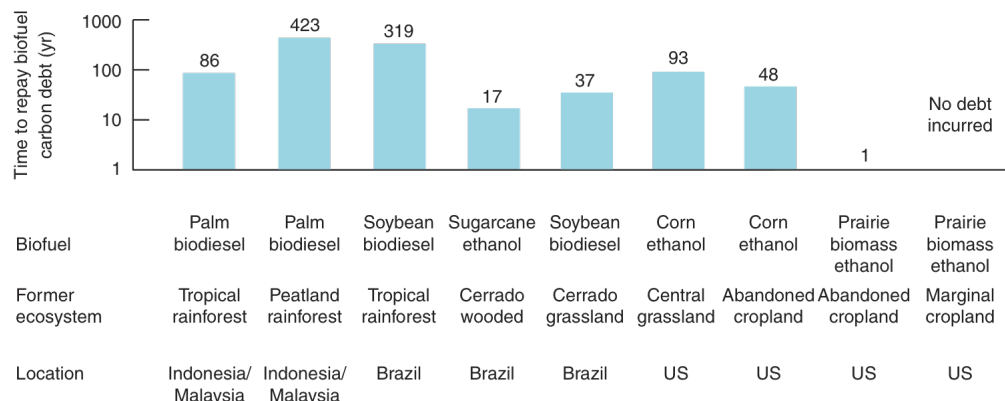
5.1 Direkte arealendringer

Fargione m.fl. (2008) beregner hvor stor karbondjelden er for biodrivstoff, og hvor mange år tilbakebetalingen tar, for seks ulike tilfeller av konvertering av urørt land i Brasil, Sørøst-Asia, og USA, da disse landene står for en stor del av produksjonen av biomasse til energiformål. For eksempel står Indonesia og Malaysia for 86 prosent av verdens palmeoljeproduksjon, og økende etterspørsel etter palmeolje bidrar til økt avskoging av tropisk regnskog i disse landene. Nærmere 30 prosent av konsesjoner for nye palmeoljeplantasjer i Indonesia er i tropiske regnskoger. Brasilianske Cerrados (tropiske savanner) blir brukt til sukkerrør og soyabønner, og i Amazonas blir mark konvertert til dyrking av soyabønner. Gressmarker i sentrale USA, i hovedsak utmark eller tidligere dyrket mark, blir konvertert til maisproduksjon. Stigende priser på mais, hvete, og soyabønner kan føre til at en vesentlig del av land som inngår i USA Conservation Reserve Program blir konvertert til dyrket mark.

Analysen i Fargione m.fl. (2008) tyder på at biodrivstoff produsert på konvertert land i lang tid vil gi større utslipp av klimagasser enn det fossile brensel de erstatter, se også oppsummering i figur 5.1. Alle bortsett fra to – sukkerrøretanol og soyabønnediesel fra Cerrado - ville gi større utslipp i minst et halvt århundre. Det å bruke mark som ligger brakk til etanolproduksjon kan også gi en forholdsvis lav karbondjeld ettersom denne marken allerede har mistet en betydelig del av sitt karbonlager. Men jordbruksland som ligger brakk gjenskaper over tid karbonlagret, og analysen viser at hvis man i USA tar i bruk gressmarker som ikke har vært dyrket på over 15 år for å dyrke mais til etanol vil dette gi en karbondjeld som det vil ta ca 50 år å betale tilbake. Dersom biodrivstoff skal

bidra til å redusere globale klimaendringene, tyder resultatene i Fargione m.fl (2008) på at de må produseres med liten endring i (reduksjon av) lagrene av organisk karbon i jord og vegetasjon.

Figur 5.1 Tilbakebetalingstid for ulike typer biodrivstoff dyrket i ulike typer av økosystemer,



Kilde: Fargione m.fl (2008)

Som nevnt viser Fargione m.fl (2008) at biodrivstoff dyrket på arealer som ligger brakk, kan gi et gunstigere klimaregnskap fordi slike arealer som regel har et lavt karboninnhold. Det finnes flere forskningsarbeider som viser 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.

5.2 Indirekte effekter

Searchinger m.fl. (2008) ser på de indirekte effektene av arealbruk. Artikkelen blir sitert som et hovedverk av senere forskningsartikler innenfor biodrivstoff og klimautslipp. Hovedpoenget i Searchinger m.fl. (2008) er at når man går over til å dyrke planter for biodrivstoff på eksisterende jordbruksarealer, reduseres den totale produksjonen av mat. Dermed presses matvareprisene opp, og det blir det mer lønnsomt å rydde nytt jordbruksland andre steder. Dette øker presset på avskoging. De viser til studier som viser at høyere priser på soyabønner har akselerert rydding av regnskog i Brasil.

Utslipp fra slike arealbruksendringer har vært vanskelig å kvantifisere, derfor har de ikke blitt inkludert i flere tidligere studier, selv om man har vært klar over at de eksisterer. Ved hjelp av en global landbruksmodell gjør Searchinger m.fl. (2008) et forsøk på dette. For å anslå globale arealbruksendringer, beregner modellen effektene av en potensiell sterk vekst i produksjonen av amerikansk maisetanol frem mot 2016. Modellen viser hvilken betydning dette har for bruken av dyrket mark globalt, inklusive konsekvensene for meieri- og husdyrproduksjon. Modellen har et perspektiv på 30 år.

Hovedfunnene i Searchinger m.fl. (2008) er at maisbasert etanol, som det tidligere var anslått ville redusere utslippene med 20 prosent (ref. studiene presentert i kapittel 4), nesten dobler klimautslippene over 30 år i forhold til fossilt drivstoff. Videre vil den maisbaserte etanolen være netto klimanegativ i 167 år. I modellen er utslippene fra

arealbruksendringene så store at selv i det hypotetiske tilfellet hvor etanol er utslippsfritt, vil utslipp av klimagasser likevel vil øke over 30 år. På bakgrunn av disse funnene drøfter Searchinger m.fl. (2008) verdien av å bruke biodrivstoff fra avfallsprodukter, som ikke krever arealbruksendringer. Dette kan for eksempel være kommunalt avfall og jorbruksavfall. Alger dyrket i ørkenen eller fôr produsert på land som produserer lite karbon i dag, kan også bidra til lave utslipp fra arealbruksendringer. Mulighetene for å dyrke råstoff til biodrivstoff på land som ligger brakk anser man imidlertid som begrenset.

I likhet med Searchinger utgår Kim m.fl (2008) fra at mange studier av arealbruksendringer har oversett flere viktige variable som kan påvirke utslipp fra biodrivstoff. Kim m.fl. (2008) undersøker flere av disse, og deres viktigste funn er at valg av dyrkingstype har mye å si for utslippet av drivhusgasser både fra direkte og indirekte arealbruksendringer. Kim m.fl. (2009) ser bare på indirekte landendringer innenriks i USA, og inkluderer dermed ikke effekter som for eksempel ekspansjon i brasiliansk regnskog. I tillegg ser man på mer gunstige dyrkingsteknikker for mais, mens Searchinger m.fl. (2008) og Fargione m.fl (2008) angivelig bruker den verst tenkelige dyrkingsteknikken. Bærekraftige dyrkingstyper inkluderer at jorden ikke vendes (*no-till*) eventuelt i kombinasjon av egne vintervekster, og bruk av disse kan redusere tilbakebetalingsperioden for karbondjernet til fra 12 til 3 år for konverterte gressletter. For skog vil tilsvarende reduksjon være fra 31 år til 14 år. Ifølge Kim m.fl (2008) kan disse dyrkingstypene også bidra til å bygge opp karbonlagret slik at det blir høyere enn hvis disse arealene hadde fortsatt å vokse uforstyrret.

Noen av funnene i Kim m.fl (2008) støttes av Sexton og Zilbermann (2010), som diskuterer hvordan bruk av genmodifiserte vekster kan bidra til å redusere klimagassutslippene, primært gjennom å muligheten for å binde mer karbon i jorden. Ved bruk av genmodifiserte planter er det mulig å redusere jordbearbeidingen, og man unngår dermed at bundet karbon frigjøres. Videre kan bioteknologi bidra til å redusere presset på å rydde ny mark, enten dette er for å dyrke mat eller energivekster, gjennom økte avlinger for eksempel grunnet økt utbytte pr. sesong eller muligheten for å høste flere ganger pr. år.

Melillo m.fl. (2009) bruker en modell som genererer globale arealbruksscenarier og som utforsker noen av de miljømessige konsekvensene av utvidet global produksjon av cellulosebasert biodrivstoff frem mot 2100. De biodrivstoffscenarier man fokuserer på tar utgangspunkt i en global klimapolitikk for å kontrollere utslipp fra industrien og fossile brenselkilder som ville stabilisere atmosfærens CO₂-konsentrasjon på 550 ppm, men hvor man ser bort fra effekter fra arealbruksendringer. En slik klimapolitikken vil gjøre fossilt brensel dyrere, øke hastigheten på innføring av biodrivstoff og øke størrelsen på biodrivstoffindustrien, med tilhørende effekter på arealbruk, tomtepriser, matproduksjon og matvarepriser. Modellen spår at indirekte arealbruk vil være ansvarlig for vesentlig mer karbontap (opp til dobbelt så mye) enn direkte arealbruk, men på grunn av forventet økning i bruk av gjødsel, vil N₂O-utslippene være viktigere enn karbontap i form av oppvarmingspotensial.

Melillo m.fl (200) anvender to ulike case for å illustrere forventet utvikling i arealbruk: I case 1 konverteres urørte områder for å møte den økte etterspørselen etter mark, mens case 2 er et mer intensivt bruk av allerede dyrket mark. For å identifisere de totale effektene av biodrivstoff, er hvert av de ovennevnte tilfellene sammenlignet med et

scenario uten økt biodrivstoffproduksjon. I scenarioene med økt biodrivstoffproduksjon, er de direkte effektene (for eksempel endringer i karbonlagring og N₂O-utslipp) estimert bare i områder som er brukt til dyrking av vekster til biodrivstoff. I begge casene vil arealbruken for biodrivstoff ved slutten av det 21. århundre være større enn det areal som i dag brukes til dyrking av matvekster. Indirekte arealbruksendringer vil i begge casene gi et vesentlig større karbontap enn direkte arealbruk i den første halvdel av århundret, se også tabell 5.1. I case 1 er utslippene fra dyrking av biodrivstoff av betydelig størrelse de første tiårene, og kanskje verre enn hva fossil bensin har. Det kan bety at selv på lang sikt blir kostnaden av karbongjelden vanskelig å overvinne. I case 2, hvor det er mindre vilje til å konvertere land, blir biodrivstoff gunstig tidligere. Det skyldes mer effektive tiltak for å hindre avskoging, og at dyrking på arealer med lav kvalitet kan føre til akkumulering av karbon i jordsmonnet istedenfor karbontap.

Som nevnt ovenfor tar Melillo m.fl. (2009) også hensyn til utslippene av N₂O fra ekstra gjødsel som er nødvendig for å dyrke biodrivstoff. Tabell 5.1. viser at N₂O-utslippene over tid vil bli større i uttrykt CO₂-ekvivalenter enn karbonutslipp fra arealbruk. Beste praksis for bruk av nitrogengjødsel kan imidlertid redusere N₂O utslipp i forbindelse med biodrivstoffproduksjon.

Tabell 5.1 Indeks for samlede karbonutslipp i to scenarier for arealbruk. g CO₂-ekvivalenter/MJ

	Case 1: Bruk av skog og urørt mark			Case 2: intensivert dyrking		
	2000-2030	2000-2050	2000-2100	2000-2030	2000-2050	2000-2100
Direkt arealbruk	11	27	0	-52	-24	-7
Indirekt arealbruk	190	57	7	181	31	1
Kunst-gjødsel	29	28	20	30	26	19
Sum	229	112	27	158	32	13

Kilde: Melillo (2009)

En studie av direkte og indirekte arealbruksendringer i Brasil som følge av myndighetenes og bioenergiindustriens planlagte produksjonsutvidelser er presentert i Lapola m.fl. (2010). Modellen som man bruker i denne studien beregner på direkte og indirekte arealbruksendringer i 2020 i forhold til i dag. Studien har ikke med biodrivstoff laget av cellulose (2 generasjon), ettersom man antar at det ikke vil være kommersialiserbart innen 2020. I studien forutsettes at biodrivstoffproduksjonen i hovedsak vil skje på land som i dag brukes til kvegdrift, altså kjøttproduksjon. Samtidig er det velkjent at ekspansjon av kvegdrift har vært en hovedårsak til avskogingen i Amazonas i mange tiår. Lapola m.fl. (2010) konkluderer derfor med at biodrivstoffproduksjonen i Brasil vil føre til at enda mer av regnskogen i Amazonas blir konvertert til beiteland for kveg, med ditto konsekvenser for CO₂-utslipp og biologisk mangfold. Simuleringene viser at de direkte arealbruksendringer vil ha en liten innvirkning på karbonutslippene fordi de fleste biobrenselplantasjer vill erstatte utmark. De indirekte arealbruksendringene vil derimot være så omfattende at de utligner klimabesparelsen ved å skifte til biodrivstoff; spesielt der utvidelsen av utmarken presser seg inn i den amazonske regnskogen. I studien er etanol fra sukkerrør og biodiesel fra soyabønner gjennom indirekte

arealskifteeffekter ansvarlig for nesten halvparten av den estimerte avskogingen på 122.00 km² frem til 2020. I tillegg vil 46.000 km² av andre urørte habitater kultiveres til biodrivstoffplantasjer.

Lapola m.fl (2010) viser at avskogingen vil skape en så stor klimagjeld for biodrivstoff fra soyabønner i forhold til fossilt brennstoff at det vil ta 250 år før biodrivstoffet vil ha betalt det tilbake. For sukkerrør er tilsvarende klimagjeld 44 år. Studien tester også ulike vekster som kan tjene som råstoff for å oppfylle Brasils biodieseleterspørsmål. Selv om soyabønner er mest vanlig i dag, er det ikke nødvendigvis det mest effektive råstoffet, fordi det kreves relativt store landområder, skaper store klimautslipp også om man bortser fra arealbrukendringene og har lav evne til karbonlagring. Studien finner at palmeolje som råstoff vil forårsake minst arealbruksendringer og lavest tilhørende karbonlagring. Palmeolje kan dekke Brasils behov for biodrivstoff med kun 4.200 km², mens soyabønner trenger 108.100 km². Videre finner man at det å øke kveg-tettheten per hektar vil redusere behovet for arealbruksendringer, og at et tettere samarbeid eller en styrket institusjonell kobling mellom biodrivstoff- og kvegindustrien i de kommende årene er avgjørende for effektive karbonbesparelser for biodrivstoff i Brasil.

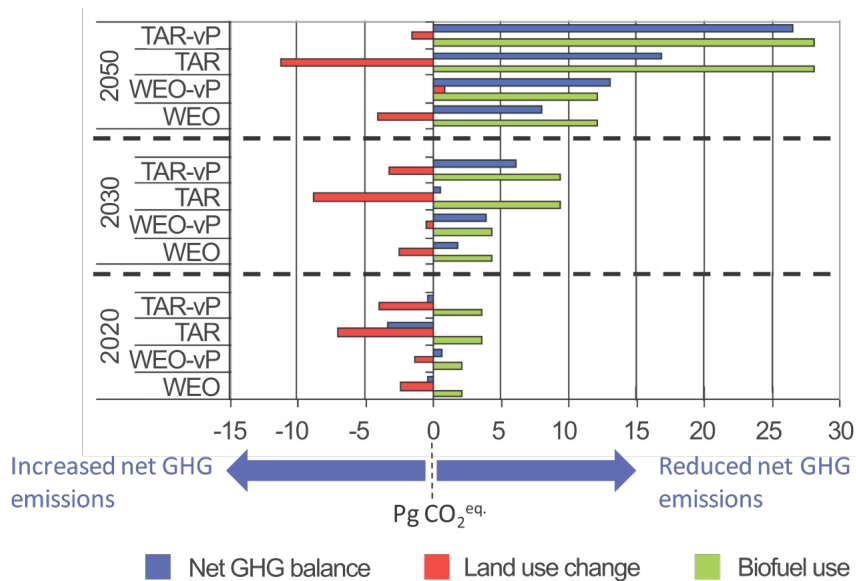
Wibe (2010) bruker bl.a. tallene fra Searchinger m.fl. (2008) til å beregne hvor lang tid det tar for etanol basert på hhv. mais, energivekster og sukkerrør gir lavere utslipp enn bensin for samme mengde transportarbeid. For maisetanol tar det 163 år, for energivekster 50 år og for sukkerrør 23 år.

Berndes m.fl. (2010) gjennomgår nyere forskning på utslipp knyttet til arealendringer og viser til en beregning av mulige utslipp frem mot 2050 gitt ulike scenarier for utviklingen hvor man har tatt hensyn til denne effekten, se figur 5.2. De ulike scenariene er:

- WEO: biodrivstoff frem mot 2030 som forutsatt i referansescenariet i IEA World Energy Outlook 2008 (4,2 prosent i 2020 og 5,4 prosent i 2030), med innfasing av annen generasjon fra 2015
- TAR: omtrent dobbelt så stort forbruk av biodrivstoff og raskere innfasing av annen generasjon
- vP: økt produktivitet i dyrkingen som fører til mindre arealendringer.

Figur 5.2. viser at på kort sikt vil netto klimagassutslipp være positive (dvs. at utslippene øker) i alle scenarier unntatt hvis man tar i bruk de beste dyrkingemetodene i referansebanen fra World Energy Outlook. På lang sikt, dvs. frem mot 2050, regner man imidlertid med at man vil ha en netto klimagevinst i alle fire scenariene.

Figur 5.2 Anslag på endringer i klimagassutslipp ved ulike scenarier for fremtidig bruk av biodrivstoff



Kilde: Berndes m.fl. (2010), Elobio (2010).

5.3 Drøfting

Beregning av karbondjeld og tilbakebetalingstid er fortsatt forholdsvis omstridt og grunnet ulike forutsetninger og modeller brukt gir ulike analyser til dels svært ulike svar. At arealbruksendringer kan føre til utslipp av klimagasser er imidlertid sikkert, men også at det finnes flere måter å redusere disse utslippene på.

Som pekt på i Liebe og Halsør (2010) fokuserer de fleste studiene på amerikansk biodrivstoffproduksjon og resultatene er dermed ikke nødvendigvis aktuelle for Norge. USA bruker det meste av sin biodrivstoffproduksjon innenlands, og i dag skjer det ikke noen import av etanol fra USA.

Hvis man isolert sett ser på norsk produksjon av biodrivstoff er det mest aktuelt med annen generasjon basert på skogråvare, med liten eller ingen fortregning av dyrket mark, dvs. antatt små indirekte arealbruksendringer. Nyere forskning viser at karbon-tapet i skogsjord etter avvirkning er relativt lite og at oppbygging av karbon i jorda går raskere enn tidligere antatt (Nilsen m.fl., 2008). Dette gjelder spesielt om man setter i verk tiltak som rask tilplanting, ugrasbekjempelse og eventuelt gjødsling.

Ifølge Liebe og Halsør (2010) har EU i en lenger tid arbeidet med ulike metoder for å beregne effektene av indirekte arealbruksendringer, med den hensikt å inkludere disse effektene i bærekraftskravene i fornybardirektivet. I Burell (2010) sammenfattes resultatene fra tre forskjellige metoder for å beregne arealbruksendringer som følge av fornybarhetsdirektivet, men denne studien inkluderer ikke noen beregning av klimagassutslipp.

Hvordan og om man overhode skal ta hensyn til indirekte arealendringer i bærekraftskriterier mv. for biodrivstoff kan også diskuteres. For eksempel kritiserer Kim m.fl. (2008) holdningen i flere analyser, herunder Searchinger m.fl. (2008) at biodrivstoffindustrien bør gjøres ansvarlig for de indirekte arealbruksendringene Ifølge Kim m.fl.

(2008) kan drivstoffprodusenter i prinsippet kun bli holdt ansvarlig for de miljømessige konsekvenser av deres egne forsyningskjeder, inklusive direkte LUC-effekter. Derimot mener de det ikke er åpenbart at indirekte LUC hører med her. For eksempel betyr dette at en etanolprodusent ikke bare vil holdes ansvarlig for sin egen miljøpåvirkning, men også den til en konkurrent tusenvis av mil unna som rydder regnskog for å plante soyabønner. Denne tenkemåten er den samme som blir presentert i Börjesson m.fl. (2009) som hevder at det ikke er mulig å knytte indirekte arealendringer til et spesifikt biodrivstoff, og at slike indirekte effekter skjer ved alle produksjonsendringer. Derfor bør de negative miljøeffektene tilskrives all produksjon av mat- og forvekster, og ikke bare vekster for produksjon av biodrivstoff.

Kim m.fl (2008) diskuterer også det problematiske knyttet til en grunnleggende forutsetning bak analyse av indirekte LUC, at man ser på hele verdensmarkedet for de enkelte veksttypene som et system. Indirekte LUC-analyser betyr nemlig at for eksempel mais som brukes til biodrivstoffproduksjon blir ansvarlig for alle hypotetiske økninger i verdens etterspørsel etter mais, uten at andre bruksområder blir tildelt noe miljøansvar. Gitt at mer enn 70 prosent av all mais som dyrkes globalt brukes som dyrefôr, virker det ikke forsvarlig å tillegge biodrivstoff alle utslipp av drivhusgasser. Men som diskutert i Wibe (2010) vil den prisstigning som økt etterspørsel etter mais gir øke etterspørselen etter alternative forvekster, som i sin tur vil bidra til økte priser for for eksempel soyabønner. Dette kan føre til at ny mark tas i bruk for å dyrke disse vekstene. Ettersom de aller fleste mat og forvekstene er substitutter i en eller annen forstand vil økt økt bruk av biodrivstoff basert på mat- og/eller forvekster påvirke alle mat- og forpriser.

Til slutt hevder Kim m.fl. (2008) at det er altfor enkelt og unøyaktig å hevde at globale arealbruksendringer først og fremst er drevet av økt landbruksproduksjon, slik som man har antatt. Ifølge litteraturen om arealbruk, er 90 prosent av endringen drevet av tre krafter: tømmerhogst, utbygging av infrastruktur og landbruk. Følgelig er det meget upresist å forutsette at all arealbrukendring skyldes biodrivstoff.

Hvordan man skal handtere indirekte arealendringer er det fortsatt ikke noen enighet om, verken når det gjelder biodrivstoff eller andre landbruksprodukter. Problemstillingen berører grunnleggende markedsmekanismer og hvorvidt enkelte land har et lovverk og håndheving av dette som faktisk beskytter verdifulle naturområder, som for eksempel regnskog, mot ødeleggelse. Den eneste måten å forhindre uønskede endringer i arealbruken er å beskytte disse områdene.

6 Kostnader

Biodrivstoff kan produseres basert på en lang rekke forskjellige råstoffer, og i tillegg finnes det flere forskjellige typer av biodrivstoffprodukter og produksjonsprosesser. Kostnadene for alle disse variantene varierer selvsagt, og det er også forholdsvis stor usikkerhet knyttet til tilgjengelig kostnadsdata. Det er mange faktorer som påvirker kostnadene og prisene, for eksempel råoljeprisen, været, annen etterspørsel etter råvarene (for eksempel til matproduksjon), virkemiddelbruk i andre land og teknologi. En annen usikkerhet er knyttet til at noen av produktene ikke omsettes, eller endog produseres, og det dermed ikke finnes annet enn usikre anslag på forventede kostnader eller priser.

Nedenfor presenteres kostnadsanslag fra perioden 2007-2009, men det er ikke noe som peker på at disse kostnadene, eller kostnadsforholdene, har endret seg vesentlig siden dess. Tallene kan derfor ses som en god tilnærming til faktiske kostnader.

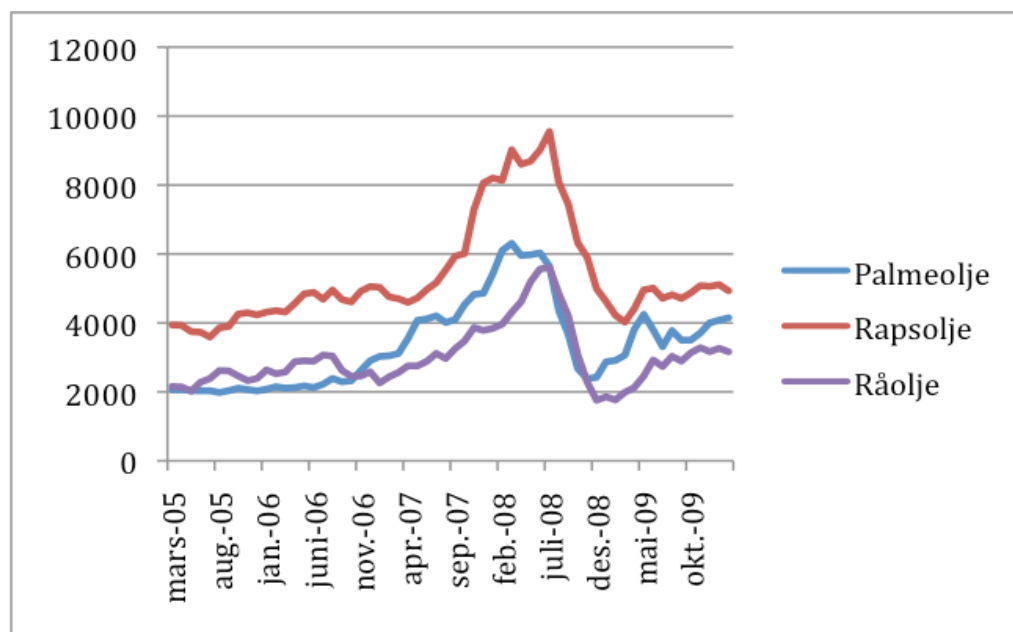
6.1 Råvarekostnader

Råvarekostnadene utgjør for mange typer biodrivstoff den største delen av totale produksjonskostnader, med unntak av avfallsstoffer hvor prisen kan gå ned mot null eller til og med være negativ. Råvareprisene på verdensmarked varierer ganske mye, se figur 6.1 for utviklingen for palmeolje, rapsolje og råolje i perioden 2005-2009. Figuren viser hvordan disse prisene følger hverandre, hvilket beror på at de blir påvirket av de samme faktorene, som for eksempel økonomisk vekst (lange trender) og vær (korte variasjoner). For de biobaserte råvarene vil været påvirke både etterspørselen og tilbudet, for eksempel vil lange perioder med tørke kunne redusere produksjonen. Råoljeprisen påvirker også de andre prisene ettersom produksjonen av biobaserte oljeprodukter er avhengig av energi. Råoljeprisen påvirker matvareprisene gjennom to kanaler, direkte i hovedsak via gjødsel- og transportkostnader, og indirekte gjennom konkurranseflaten mot bioenergi. Jo høyere oljepris dess mer attraktiv og konkurransedyktig blir bioenergi.

I PFI m.fl. (2007) beregnes kostnader for norske råvarer fra jordbruket, gitt at matproduksjonen er tilnærmet på dagens nivå. Råvarekostnadene for norske biomasse-ressurser inkl. transport ligger ifølge PFI m.fl (2007) mellom 0 og 159 øre/kWh, hvor de laveste kostnadene er for forskjellige avfallsstoffer og de høyeste for jordbruksprodukter. Skogsråvarer (rundvirke og GROT²) har en kostnad på 19-23 øre/kWh.

Econ Pöyry (2008) estimerer kostnadene ved produksjon av andregenerasjons biodrivstoff i kommersiell skala, dvs. inkludert råvarekostnader, for både bioetanol og biodiesel. Råvarekostnadene inkluderer pris for transport til produksjonsanlegg, og råvarene er både norske og importerte, se tabell 6.1.

² GReiner og TØpper

Figur 6.1 **Utvikling i pris for palmeolje, rapsolje og råolje, 2005-2009. NOK/tonn**

Kilde: IMF.

Malaysisk Palmeolje; Futures (first contract forward) 4-5 percent FFA

Rapsolje; rå, fob Rotterdam

Råolje; enkelt gjennomsnitt av; Dated Brent, West Texas Intermediate, og the Dubai Fateh

Tabell 6.1 **Råvarekostnader for andregenerasjonsbiodrivstoff, inkl. transport til produksjonsanlegg**

	Råvarepris: 15 øre/kWh	Råvarepris: 20 øre/kWh
FTL-biodiesel, høy konverteringsgrad: 44 %	3,2 kr/liter	4,3 kr/liter
Bioetanol, lav konverteringsgrad 25 %	3,7 kr/liter	4,9 kr/liter

Kilde: Econ Pöyry

6.2 *Produksjonskostnader*

For 1. generasjons bioetanol estimerer Insa og KanEnergi (2009) produksjonskostnadene, ekskl. råvarekostnader, til drøyt 1 kr/liter bensinekvivalent³ i en rekke land. Råvarekostnadene er antatt å utgjøre 2-5 ganger selve produksjonskostnaden, hvilket gir en total produksjonskostnad på mellom 3 og 5,3 kr/liter bensinekvivalent. Inkludert frakt til Europa oppgir Insa og KanEnergi (2009) en pris på 1. generasjons bioetanol på 5,3 kr/liter bensinekvivalent (tilsvarende 3,5 kr/liter bioetanol).

Produksjonskostnadene (inkludert råvarer, produksjon og transport/logistikk) for første generasjons biodiesel er i Insa og KanEnergi (2009) estimert til 6,2 kr/l. Råvarekostnaden utgjør nærmere 80 prosent av produksjonskostnaden, og med svingende råvarepriser vil også produksjonskostnadene variere betydelig.

³ Bioetanol har lavere energiinnhold enn bensin, og ved omregning av kostnader for bioetanol til bensinekvivalent er det brukt en omregningsfaktor på 0,66 (dvs. at energiinnholdet i bioetanol tilsvarer 66 prosent av energiinnholdet i bensin).

Econ Pöyry (2008) estimerer kostnader ved produksjon av andregenerasjons biodrivstoff i kommersiell skala, dvs. også driftskostnader, for både bioetanol og biodiesel, se Tabell 6.2. Kostnadene er hentet fra anlegg til Choren (FT-biodiesel) og Iogen (bioetanol fra cellulose). Lønnskostnader, vedlikehold, kjemikalieforbruk og andre driftskostnader utgjør i de fleste kalkylene 10 til 25 prosent av de totale kostnadene. I tabell 6.2 er det lagt til grunn at øvrige kostnader utgjør 20 prosent av summen av de totale kostnader til kapital og råvarer. Anslagene i tabell 6.2 er basert på opplysninger fra et fåtall planlagte anlegg, dvs. at kostnadene foreløpig ikke har vært testet i praksis, og er derfor svært usikre.

Tabell 6.2 Anslag på kostnader for produksjon av andre generasjons biodrivstoff

	Biodiesel, kr/liter		Etanol, kr/liter	
	Biodiesel	Dieselekv.	Etanol	Bensinekv.
Kapitalkostnad	2,9-3,6	3,2-4,0	3,4-4,2	5,2-6,4
Råvarekostnad	3,2-4,7	3,5-5,2	3,7-5,2	5,6-7,9
Drift og vedlikehold (20 %)	1,2-1,8	1,3-2,0	1,4-2,1	2,1-3,2
Totale kostnader	7,3-10,0	8,0-11,0	8,5-11,5	12,9-17,4
Kostnader i øre/kWh	80 – 105		140 – 185	

Kilde: Econ Pöyry

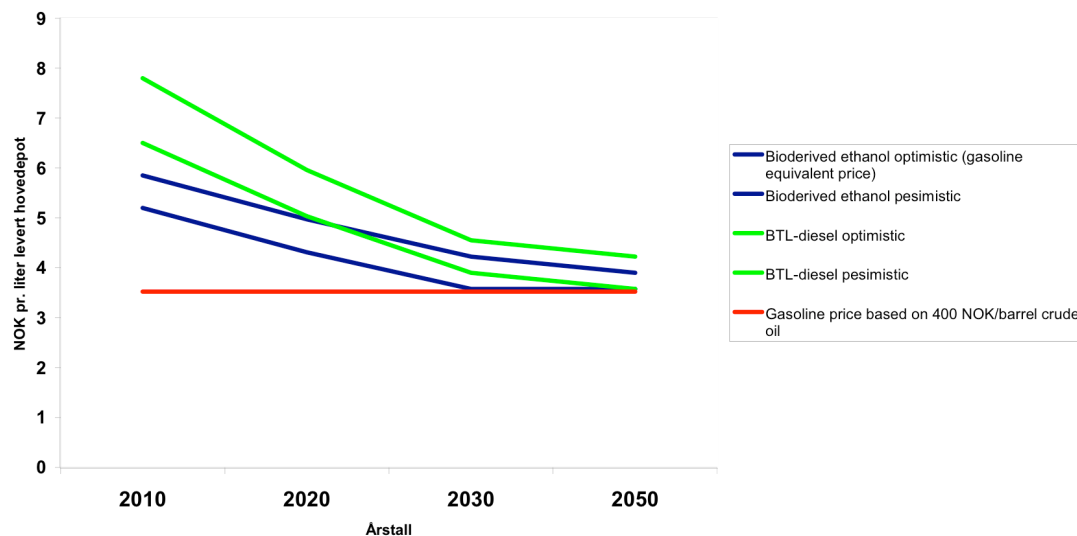
Insa og KanEnergi (2009) drøfter også kostnadsanslag for andre generasjons biodiesel, og har med noen beregninger som ligger til dels vesentlig lavere enn tallene i Econ Pöyry (2008). Dette kan bl.a. skyldes at oljepris og andre råvarepriser i gjennomsnitt var vesentlig høyere i 2008 enn i 2009. Insa og KanEnergi baserer seg bl.a. på tall fra det amerikanske selskapet Verenium, som hevder at de vil kunne produsere andre generasjons bioetanol til en kostnad på 5 kr/liter bensinekvivalent, hvilket er på nivå med IEAs anslag for 2020 og kostnader for første generasjons bioetanol i 2009. Det sies imidlertid at disse tallene sannsynligvis er for optimistiske. Ifølge Econ Pöyry (2010) oppgir Xynergo at forventede produksjonskostnader for andre generasjon biodiesel er 10-13 kr/liter.

Til fratrekk i kostnadene kan det komme inntekter fra biprodukter fra biodrivstoffproduksjonen. Enkelte typer av biokjemisk konvertering vil kunne generere forholdsvis høye inntekter fra salg av biprodukter, for eksempel brenselpellets, dyrefôr og/eller andre trekjemiske produkter. Denne produksjonen medfører imidlertid i de fleste tilfeller et relativt høyt forbruk av enzymer og/eller andre kjemikalier hvilket kan redusere nettoinntektene fra salg av biprodukter.

I Insa og KanEnergi (2009) er det gjengitt en figur over sannsynlig utvikling i prisen for 2. generasjons bioetanol og biodiesel hentet fra IEA, og som viser et forholdsvis vesentlig fall i prisen frem mot 2030, og at man da vil nærme seg prisen på fossile drivstoffer (forutsatt en pris for råolje på 400 kr/fat), se Figur 6.2.⁴

⁴ Figuren er hentet fra IEA-rapporten "From 1. to 2. generation biofuels technologies"

Figur 6.2 Verdensmarkedspriser 2. generasjon etanol og biodiesel omregnet til bensinprisekvivalent



Kilde: Insa og KanEnergi (2009), IEA

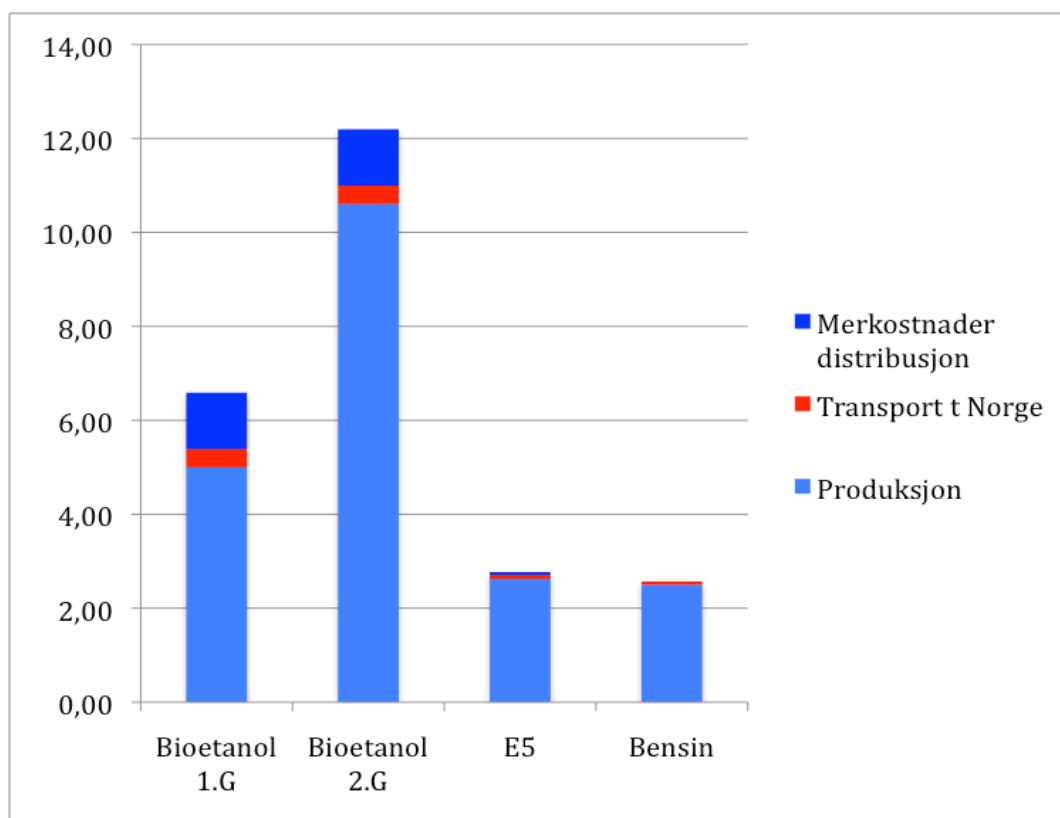
6.3 Samlede kostnader

Econ Pöyry (2010) sammenligner kostnadene for biodrivstoff med konvensjonelle drivstoff pr. liter drivstoff. Tallene inkluderer kun finansielle kostnader, dvs. at eventuelle andre ulemper som hyppigere tanking eller økt vedlikehold av utstyr ikke er medregnet. Priser på konvensjonelle mineraloljer er basert på en råoljepris på ca 400 kr/fat. De kostnadstall som presenteres er ikke lik pris til sluttbruker, primært grunnet at det ikke inkluderer alle kostnader og avanser. Bl.a. mangler kostnader for distribusjon av brensel fra depot til sluttbruker eller salgsledd, siden disse varierer både med avstand fra depot og mengde.

Figur 6.3 viser kostnadene for bioetanol og konvensjonell bensin, ekskl. avgifter. Hvis man adderer eksisterende avgifter for bensin er første generasjon bioetanol konkurransedyktig med bensin. Andre generasjons bioetanol er imidlertid vesentlig dyrere enn bensin, i størrelsesorden en dobling av prisen for sluttbruker.

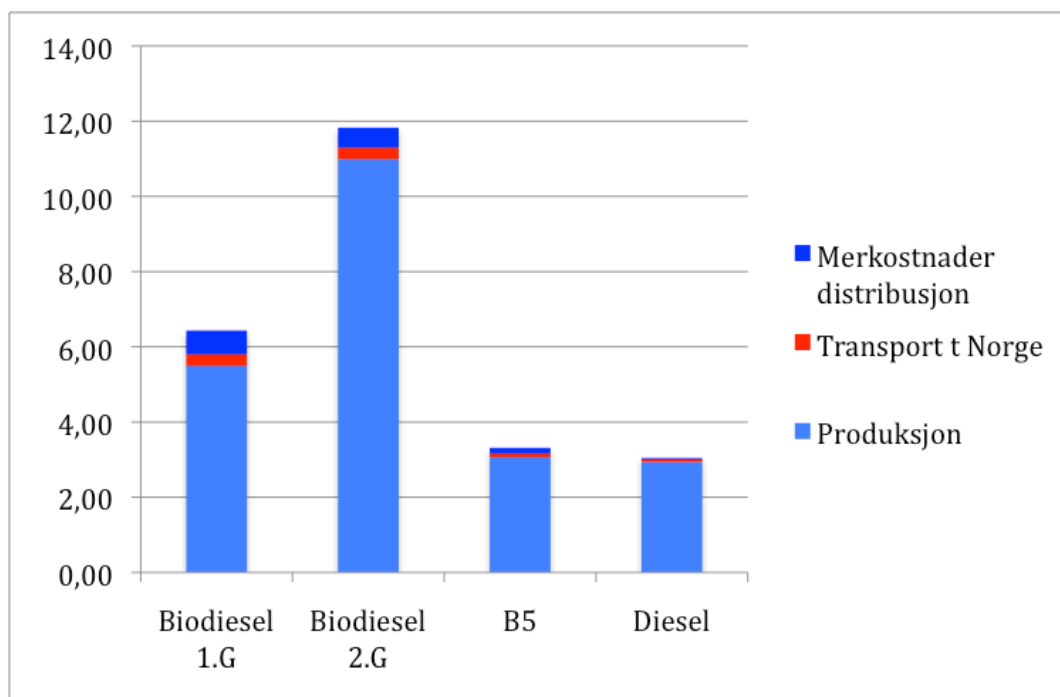
Både første og andre generasjons biodiesel er vesentlig dyrere enn diesel uten avgifter, se Figur 6.4.

Figur 6.3 Kostnader for bioetanol, E5 og Bensin. Kr/liter bensinekvivalent. Ekskl. bruttoavance, avgifter og mva.



Kilde: Econ Pöyry (2010)

Figur 6.4 Kostnader for biodiesel, B5 og diesel. Kr/liter dielekvivalent. Ekskl. bruttoavance, avgifter og mva.



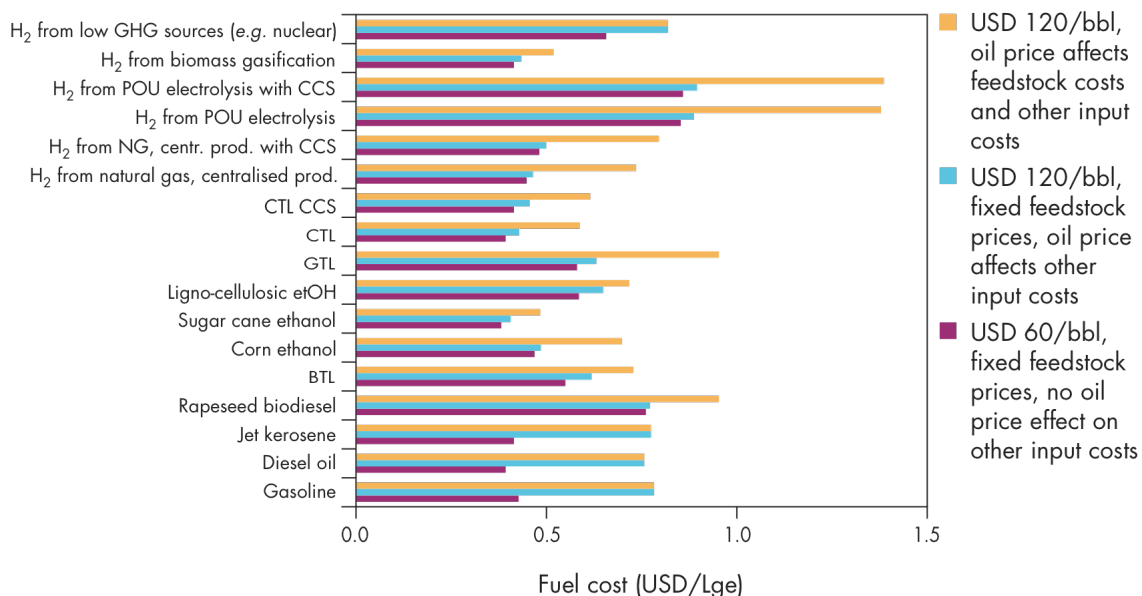
Kilde: Econ Pöyry (2010)

6.4 Forventet prisutvikling

Som nevnt er det for mange biodrivstoff råvarene som utgjør den største kostnaden. Skal biodrivstoff bli konkurransedyktig i forhold til konvensjonelle drivstoff må kostnadsforskjellen i råvare- og produksjonsleddet endres. Produktprisene for første generasjons bioetanol og –diesel er ikke forventet å bli vesentlig redusert fremover. Her vil snarere økt etterspørsel etter råvarene bidra til økte produksjonskostnader. For andre generasjons biodrivstoff forventes til dels vesentlige kostnadsreduksjoner frem mot 2030 gitt store investeringer i FoU for disse drivstoffene (IEA, 2008). Med en uendret råoljepris på 400 kr/liter vil kostnadene allikevel mest sannsynligvis ligge over kostnadene ved å produsere fossilt drivstoff også i 2030. Betydelig stigning i råoljeprisen og/eller teknologiske framskritt i produksjonen av 2. generasjon biodrivstoff kan imidlertid endre dette bildet.

IEA (2009) har sett på kostnaden for forskjellige typer av alternative drivstoff ved en råoljepris på 60 US\$/fat (390 kr/fat) og ved 120 US\$/fat (780 kr/fat). Ved en oljepris på 120US\$/fat har man gjort to antakelser om prisen på øvrige drivstoff, en hvor prisene på andre drivstoff enn bensin og diesel ikke blir påvirket av økt oljepris, og en hvor alle priser blir påvirket, se figur 6.5.

Figur 6.5 Fremtige kostnader for ulike typer drivstoffer. USD/liter bensinekvivalent



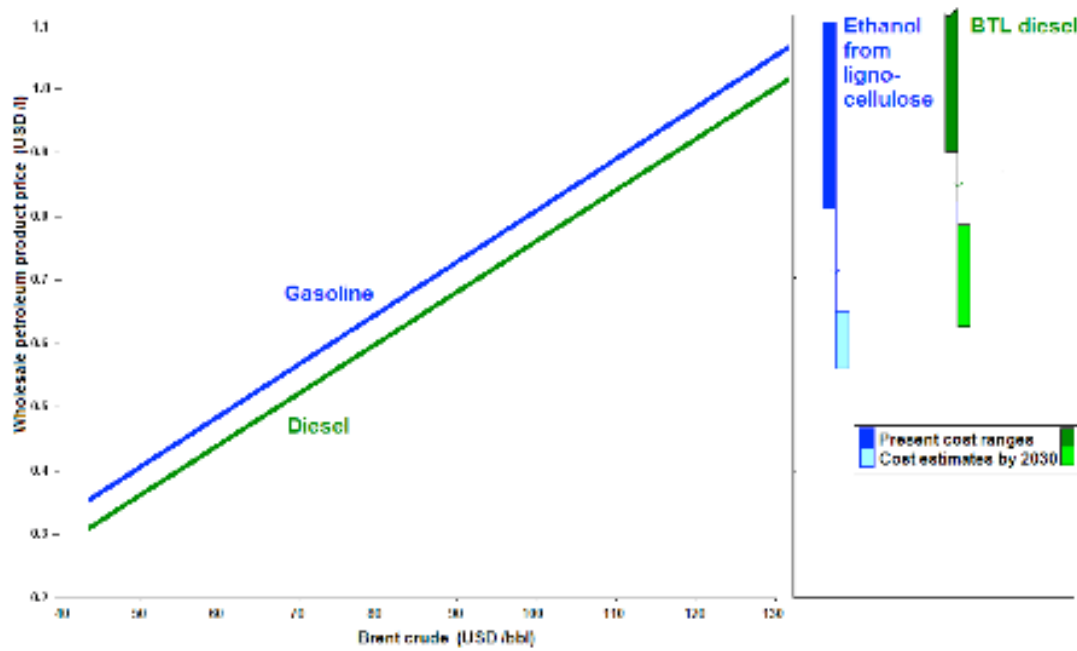
Kilde: IEA

Ved en råoljepris på 60 US\$/fat er det kun "flytende" kull (coal-to-liquid, CTL) og etanol basert på sukkerrør som er konkurransedyktig med bensin og diesel, både på kort (2010-2015) og lang (2020-2030) sikt. BTL (biomass to liquid) er antatt å bli marginalt billigere på lang sikt, men vil fortsatt være nesten dobbelt så dyrt som diesel.

Ved en råoljepris på 120 US\$/fat, og uten at det påvirker prisen på biobaserte drivstoff, vil alle typer av biobaserte drivstoff være billigere enn bensin og diesel. Hvis en dobling av råoljeprisen påvirker kostnadene for produksjon av biodrivstoff vil en del av dette bli spist opp, og flytende gass (gass-to-liquid, GTL) og biodiesel basert på raps vil bli dyrere enn bensin og diesel. BTL vil være marginalt billigere enn diesel i dette tilfellet.

I World Energy Outlook 2006 (IEA, 2006) ble produksjonskostnader for biodrivstoff (ekskl. subsidier) sammenlignet med verdensmarkedsprisen for bensin og diesel (FOB) ved ulike priser for råolje, se figur 6.6. Både priser og kostnader har endret seg til dels vesentlig siden da, men figuren gir likevel en indikasjon på hvilken råoljepris som er nødvendig for at andre generasjon biodrivstoff skal være konkurransedyktig i dag og i 2030.

Figur 6.6 Produksjonskostnader for andre generasjon biodrivstoff og sammenhengen mellom verdensmarkedspriser for bensin og diesel og råolje i 2006.



Kilde: IEA

6.5 Preiseffekt av økt satsing på biodrivstoff

En økt satsing på biodrivstoff gjennom subsidiering kan gi en lite ønsket priseffekt i form av lavere pris på konvensjonelle drivstoff. Denne effekten kommer av økt tilgang til et konkurrerende drivstoff som vil bidra til å presse prisen også på bensin og diesel. Dermed kan subvensjoner for biodrivstoff føre til at det totale forbruket av drivstoff øker med en påfølgende økning av klimagasser. Sexton m.fl. (2008) viser for eksempel at USAs etanolprogram har resultert i at bensinprisene er blitt redusert med 1,4 -2,4 prosent, hvilket i sin tur har økt bensinforbruket.

7 Oppsummering og diskusjon

Gjennomgangen av nyere forskning og litteratur om biodrivstoff viser at det er en stor og økende usikkerhet knyttet til hvorvidt biodrivstoff har en positiv klimaeffekt sammenlignet med konvensjonelle drivstoff, i hvert fall på kort sikt. Da det er stor enighet om at det haster å redusere utslippene av klimagasser kan en storstilt satsing på bioenergi, og da spesielt drivstoff, vise seg å være kontraproduktivt.

Det er tre grunner til at klimaeffekten sannsynligvis er lavere enn tidligere antatt:

- alle typer bioenergi er ikke klimanøytralt på kort sikt. Dette gjelder spesielt skog hvor det kan ta mer enn 100 år å akkumulere tilsvarende mengde CO₂ som slippes ut ved brenning av et tre.
- produksjon av biodrivstoff er vesentlig mer energikrevende enn konvensjonelle drivstoffer, og krever i tillegg kunstgjødsel i dyrkingen som resulterer i utslipp av lystgass som har en klimaeffekt som er 300 ganger sterkere enn CO₂.
- økt etterspørsel etter biodrivstoff vil føre til endret arealbruk som kan medføre at store mengder karbon som er bundet i jordsmonnet blir frigjort. Dette gir en karbongjeld som det kan ta mange år å betale tilbake.

Den midterste effekten er det forholdsvis enkelt å beregne, og ta hensyn til i bærekraftskriterier for biodrivstoff. De to andre effektene hersker det vesentlig større usikkerhet omkring, bl.a. knyttet til hvordan disse effektene skal beregnes, hvilke ressurser (plantelag og marktype) man ser på og at utslippene påvirkes av hvordan uttak og skjøtsel av ressursene gjennomføres. Denne usikkerheten gjør at det er vanskelig, og kanskje heller ikke hensiktsmessig, å beregne totale utslipp av klimagasser fra ulike typer biodrivstoff.

Beregningene av klimagassutslipp fra biodrivstoff i Klimakur og Kyotoprotokollen tar ikke hensyn til punkt 1 og 3 ovenfor. Dette betyr at de med all sannsynlighet overskatter potensialet for reduserte utslipp ved økt bruk av biodrivstoff.

de Santi m.fl. (2008) er en grundig gjennomgang av bruken av biodrivstoff i EU, hvor de ser på målsettingene for EUs politikk knyttet til bioenergi, om målene kan nås og om nytten av denne politikken er større enn kostnadene. De konkluderer at, til tross for stor usikkerhet i tallene er kostnadene for biodrivstoff så store sammenlignet med konvensjonelle drivstoff, selv i de beste tilfeller, at de overstiger nytten i form av reduserte klimagassutslipp, flere arbeidstilfeller og økt forsyningssikkerhet – dvs. de andre begrunnelsene for satsing på biodrivstoff i mange land. De finner for så vidt at de fleste typer av biodrivstoff kan redusere klimagassutslippene hvis man legger de mest gunstige forutsetningene til grunn. Men de eneste biodrivstofftypene som gir en klimagevinst når man også tar hensyn til indirekte effekter er sukkerrørsetanol fra Brasil, komprimert biogass og annen generasjons biodisel. De advarer om at indirekte arealendringseffekter kan gi så store utslipp av klimagasser at de oppveier for alle besparelser fra redusert bruk av konvensjonelle drivstoff. Men størrelsen på disse effektene er ikke kjent, og avhenger i tillegg av den politikk og kontroll som føres i de land hvor det er mest aktuelt å utvide dyrkingsarealet. de Santi m.fl. (2008) peker også på at dette er en problemstilling som ikke kan håndteres bare gjennom sertifiserings-systemer og bærekraftskriterier.

I en gjennomgang av problemstillingene knyttet til biodrivstoff for OECD/IEA konkluderer Dornbusch og Steenblikk (2007) med at kuren sannsynligvis er verre enn selve sykdommen, dvs. at kostnadene for den politikk som føres i mange land for å øke produksjonen og bruken av biodrivstoff er større enn gevinsten, dvs. samme konklusjon som de Santi (2008). Wibe (2010) estimerer at det svenske forbruket av bioetanol i perioden 2000-2009, og som har vært resultatet av sterke virkemidler, kan ha økt utslippenen av klimagasser med 15-30 millioner tonn sammenlignet med om konvensjonell bensin hadde blitt benyttet.

Betyr dette at man ikke bør bruke/promotere bioenergi, og spesielt ikke til biodrivstoff, eller finnes det måter å håndtere disse problemstillingene på? Searchinger m.fl. (2009) lanserer en måte å overkomme problemene som det er pekt på i denne rapporten. De mener at Kyotoprotokollen og relevant klimalovgivning feilaktig behandler all bioenergi som klimanøytral, hvilket kan skape for sterke incentiver til å rydde skog og land. Men ifølge Searchinger m.fl. (2009) er løsningen enkel: Man bør telle med alle utslipp av klimagasser uansett om de stammer fra fossil energi eller bioenergi, og videre må klimaregnskapet reflektere netto endringer i karbonlager i vegetasjon og mark og lekkasjeutslipp som skyldes arealbrukendringer.

Holtmark (2010b) er enig med Searchinger m.fl. (2009), og sier at det ville være bedre med et system hvor alle CO₂-utslipp prises likt, enten kilden er bioenergi eller fossil energi. Men man bør da samtidig subsidiere fangst og lagring av CO₂ i vegetasjon og jord. Hvordan en slik ordning skulle utformes i praksis er imidlertid uklart, og det vil fort kunne bli et forholdsvis komplisert system. Først og fremst er kunnskapen om hvordan menneskelig aktivitet påvirker utvekslingen av karbon mellom jord og atmosfære mangelfull. I tillegg vil man uansett mest sannsynlig stå overfor alvorlige måleproblemer på de enkelte eiendommene. Men, og som påpekt i Holtmark (2010b), har alle skattesystemer innslag av sjablongmessige beregninger, og en sjablongmessig beregning av naturlig fangst og lagring av CO₂ vil dermed ikke nødvendigvis være et fremmedelement i skattesystemet.

Berndes m.fl. (2010) mener på sin side at kortsiktige utslipp fra arealendringer ikke er en tilstrekkelig grunn til å ekskludere bioenergi fra listen over teknologier for å begrense klimagassutslippene. Hvorvidt utslippene fra arealandringer kan vurderes som kortsiktige eller ikke avhenger imidlertid av tidshorisonten man bruker, og tiltak som gir en karbongjeld på opp mot 100 år bør nok ikke vurderes som kortsiktige. Uansett har Berndes m.fl. (2010) et poeng i anbefalingen om at de politiske tiltak som iverksettes for å minimalisere negative virkninger av LUC bør være basert på en helhetlig perspektiv som tar hensyn til sammenhengen mellom produksjon av bioenergi, mat og fôr.

Referanser

- Ahmad, A. L., N. H. Mat Yasin, C.J.C. Derek, J.K. Kim, (2010): Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*
- Berndes, G., N. Bird og A. Cowie (2010): *Bioenergy, land use change and climate change mitigation*, IEA Bioenergy, ExCO:2010:03.
- Burell, A., M. Blanco Fonseca, S. H. Gay, M. Henseler, A. Kavallari, R. M'Barek, I. Perez Dominguez og A. Tonini (2010): *Impacts of the EU Biofuel Target on Agricultural Markets and Land Use, A comparative modelling assessment*. JRC Reference Reports EUR 24449.
- Börjesson, P., Eriksson K., og Lucia L. (2009): *Sustainable Vehicle Fuels – Do they Exist?* Lund University, Dept. of Science and Technology, Report no 67 Mars 2009.
- Crutzen, P. J., A. R. Mosier, K. A. Smith, og 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.
- de Santi, G., R. Edwards, S. Szekeres, F. Neuwahl og V. Mahieu (2008): *Biofuels in the European Context: Facts and Uncertainties*. European Commission Joint Research Center, JRC
- Doornbosch, R. og R. Steenblik (2007). Biofuels: Is the cure worse than the disease? OECD-dokument SG/SD/RT(2007)3/REV1.
- Econ Pöyry (2008): *Virkemidler for andregenerasjons biodrivstoff*. Rapport 2008-127. Oslo.
- Econ Pöyry (2010): Potensialstudie for flytende biobrensel i Norge. Rapport 2010-020, Oslo.
- Elobio (2010): Reconciling biofuels, sustainability and commodities demand – pitfalls and policy options. Final report from the IEE project Elobio.
- JRC (2007): *Well-To-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context version 2c*. EC-JRC/CONCAWE/EUCAR
- Fargione, J., J. Hill, D. Tilman, S. Polasky og P. Hawthorne (2008): Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt, *Science* 319, 1235-1238.
- 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.
- Framstad, E., H. Berglund, V. Gundersen, R. Heikkilä, N. Lankinen, T. Peltola, O. Risbøl og M. Weih (2009): *Increased biomass harvesting for bioenergy – effects on biodiversity, landscape amenities and cultural heritage values*. TemaNord 2009:591.
- Holtmark, B. (2010a). Use of wood fuels from boreal forests will create a biofuel carbon debt with a long payback time, Discussion papers 637, Statistisk sentralbyrå, Oslo.

Holtmark, B. (2010b): Virkningene på klimagassutslipp ved økt bruk av biodrivstoff. Rapport 44/2010, Statistisk sentralbyrå. Oslo

Holtmark, B. (2011): Biodrivstoff – øker det CO₂-problemet? *Samfunnsøkonomen* nr 1, 18-27.

IEA (2004): *Biofuels for Transport. An International Perspective*. International Energy Agency, Paris.

IEA (2008): *From 1st to 2nd-generation biofuel technologies*. An overview of current RD&D activities.

IEA (2009): *Transport, Energy and CO₂, Mowing towards sustainability*. International Energy Agency, Paris.

INSA og KanEnergi (2009): *Vurdering av biodrivstoff i transportsektoren*. Tiltak, virkemidler, effekter og kostnader i 2020 og 2030. Utarbeidet på oppdrag for SFT.

IPCC (2007): *Climate Change 2007. Impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

ISCC (2009): European Commission Workshop on the assessment procedure of voluntary sustainability schemes for biofuels and bioliquids. Brussels

Kim, H., S. Kim og B. Dale (2008): Biofuels, land use change and greenhouse gas emissions: Some unexplored variables, *Environmental Science & Technology*, 43, 96-967.

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

Klif (2011): *Skog som biomasseressurs*. Klima- og forurensningsdirektoratet, TA 2762.

Lapola, D.M., R. Schaldach, J. Alcamo, A. Bondeau, J. Koch, C. Koelking, og 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.

Liebe, L. og T. Halsør (2010): *Bærekraftig biodrivstoff – et avgjørende klimatiltak*. Zero.

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 og 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 (red) *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), 81-109.

IEA/OECD (2008). From 1st to 2nd generation biofuel technology – An overview of current industry and RD&D activities, November 2008.

PFI m.fl. (2007): *Fra biomasse til biodrivstoff Et veikart til Norges fremtidige løsninger*. Papir- og fiberinstituttet, Zero, NoBio og Transportøkonomisk institutt. Mai 2007.

Rørstad, P.K., E. Trømborg, E. Bergseng og B. Solberg (2010): Combining GIS and forest modelling in estimating regional supply of harvest residues in Norway. *Silva Fennica* 44(3): 435–451.

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., S.P. Hamburg, J. Melillo, W. Chameides, P. Havlik, D.M. Kammen, G.E. Likens, R.N. Lubowski, M. Obersteiner, M. Oppenheimer, G.P. Robertson, W.H. Schlesinger og G.D. Tilman (2009): Fixing a Critical Climate Accounting Error, *Science* 326, 527-528.

Sellæg (2010): Manglende kunnskap om skogen. Kronikk i Bondebladet 23. september 2010.

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 12(1):1-6. Giannini Foundation of Agricultural Economics, University of California.

Sexton, S. and D. Zilberman. 2010. "Agricultural Biotechnology Can Help Mitigate Climate Change" Agricultural and Resource Economics Update. 14(2):1-4. Giannini Foundation of Agricultural Economics, University of California.

Solberg og Sjølie (2010): Uegnet modell for skogbasert bioenergi. Innlegg i Dagens Næringsliv 18 august 2010.

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

Zah, Rainer, Heinz Böni, Marcel Gauch, Roland Hischier, Martin Lehmann and Patrick Wäger (2007): *Life Cycle Assessment of Energy Products: Environmental Assessment of Biofuels — Executive Summary*, EMPA – Materials Science & Technology, Federal Office for Energy (BFE), Bern, p.161

Zanchi, G., N. Pena og N. Bird (2010). The upfront carbon debt of bioenergy. *Joanneum Research*, 2010.

Zentner, R.P., P. Basnyat, S.A. Brandt, A.G. Thomas, D. Ulrich, C.A. Campbell, C.N. Nagy, B. Frick, R. Lemke, S.S. Malhi og M.R. Fernandez (2011): Effects of input managment and crop diversity on non-renewable energy use efficiency of cropping systems in the Canadian Prairie. *European Journal of Agronomy*, 34, 113-123.