

**RAPPORT**

25. november 2011

# Reducerer brug af biomasse atmosfærens indhold af CO<sub>2</sub>?

---

## Indholdsfortegnelse

Sammenfatning .....	3
1. Indledning.....	5
2. Udledning af drivhusgasser og kulstoffets kredsløb .....	6
3. Regler for beregninger af biogent CO <sub>2</sub> og den videnskabelige kritik .....	9
4. CO <sub>2</sub> -udledning ved brug af biomasse .....	15
5. Konklusion og konsekvenser for nationale og internationale målsætninger og virkemidler.....	19
6. Referencer .....	22
7. Referencer i EEA's videnskabelige komités rapport:.....	23

## Sammenfatning

Biobaseret energi regnes normalt for at være CO<sub>2</sub>-neutralt. Dette er i almindelighed en forkert antagelse.

Denne rapport gennemgår nogle af de seneste argumenter i den videnskabelige debat og konkluderer, at mængden af biomasse, der bidrager substantielt til nedbringelse af drivhusgasser her og nu ved at substituere fossile brændsler, pt. er begrænset. Især kan øget brug af træpiller og træflis formentlig kun i mindre omfang bidrage til reduktion af den globale udledning af drivhusgasser frem mod 2050.

Rapporten identificerer fire hovedgrunde til dette:

1. *Tidsaspektet*: Tidsaspektet i kulstoffets frigivelse og optag i biosfæren medfører, at i mange tilfælde vil brug af biomasse til energiformål indebære en stor nu-og-her frigivelse, mens et eventuelt efterfølgende optag er forsinket i op til 150 år. For at opnå en rimelig chance for at holde den menneskeskabte globale temperaturstigning under 2 grader, skal udledningen i 2050 være halveret i forhold til udledningen i år 2000 i absolutte tal. Derfor er tidsaspektet væsentligt og taler for, at biomasse fra afgrøder med kort rotation (f.eks. halm) foretrækkes frem for afgrøder med lang rotation (f.eks. træ fra skove).
2. *Alternativ anvendelse*: Den alternative anvendelse af en given biomasse er væsentlig. Når man eksempelvis i Danmark taler om at substituere kul med træpiller i større stil medfører dette samlet en merefterspørgsel efter træ i forhold til situationen i dag og indregnes alternativet – f.eks. at lade træet stå – bliver nettoklimaeffekten, afhængig af tidsperspektivet, ofte negativt på kort sigt og ofte kun positivt på lang sigt.
3. *ILUC (Indirect land use change)*: En merefterspørgsel efter biomasse vil kunne lede til øget afskovning, mindre fødevareproduktion og/eller øget intensivering. Effekterne heraf bør indregnes i den samlede klimabelastning.
4. *EU's Klima- og Energipakke*: Da biomasse regnes som CO<sub>2</sub>-neutralt i blandt andet EU's kvotesystem, vil substitution af eksempelvis kul blot føre til, at den tilsvarende mængde CO<sub>2</sub> udledes et andet sted i EU. Hvis biomassen imidlertid ikke er CO<sub>2</sub> neutral, vil nettoeffekten være en forøgelse af CO<sub>2</sub>-udledningerne (op til en fordobling).

Metodisk er rapportens hovedkilde Det Europæiske Miljøagenturs (EEA) videnskabelige komités rapport fra september 2011, hvori disse problemstillinger behandles grundigt på basis af en lang række videnskabelige kilder (optrykt i

kapitel 7). Derudover gennemgås en canadisk undersøgelse af nettoklimaeffekten af træpilleproduktion i boreale skove, og der suppleres med en generisk matematisk beregning af "Global Warming Potential" af biomasse generelt.

På baggrund heraf tilslutter CONCITO sig EEA's anbefalinger:

- At EU's reguleringer og politiske mål bør revideres, så de kun fremmer brug af bioenergi fra additional biomasse og således, at den ikke påvirker fødevarerproduktion eller anden biomasseproduktion.
- Beregningsstandarder bør kun anvendes og accepteres, hvis de fuldt ud gør rede for ændringer af lagre og optag/frigivelse af kulstof i økosystemerne.
- Politikken inden for bioenergi bør fokusere på restprodukter i biomassen som f.eks. affald og residualer, dog ikke i et omfang hvor brugen af disse forringer dyrkningsjordens frugtbarhed.
- Beslutningstagere skal globalt justere forventningerne til den energi, man kan hente fra biomasse til alene at omhandle additional biomasse, uden at denne har en negativ påvirkning på de naturlige økosystemer.

CONCITO's konklusion såvel som EEA's videnskabelige komité's anbefalinger indebærer *ikke*, at bæredygtig biomasse ikke skal udnyttes eller søges produceret. Derimod indebærer konklusionen, at det er af *afgørende* betydning at lægge en strategi for en målrettet anvendelse og udbygning af ressourcen af bæredygtig biomasse. Samtidig er der behov for at få fastsat bæredygtighedskriterier for alle typer biomasse til energiformål.

CONCITO henleder opmærksomheden på det brev og tilhørende notat, som Landbrug & Fødevarer, Dansk Energi og CONCITO fremsendte til daværende klima- og energiminister Lykke Friis i september 2010. Heri anbefaler organisationerne at der snarest udarbejdes en national handlingsplan for biomasse.

Nærværende rapport understreger relevansen af denne anbefaling.

## 1. Indledning

Afbrændingen af fossile brændsler er en af de væsentligste bidragsydere til stigningen af CO<sub>2</sub> i atmosfæren, og dermed en af årsagerne til den menneskeskabte globale opvarmning. Samtidigt er efterspørgslen på de fossile brændsler stadig stigende, og med begrænsede fossile reserver især inden for olie og gas er priserne på de fossile brændsler stigende og ustabile.

Dette har naturligt ført til et fokus på alternativer, hvor ikke mindst brugen af biobrændsler som erstatning for såvel olie, gas og kul er i fokus. Brugen af disse bliver betragtet som en af de væsentligste løsninger i energiforsyningen som virkemiddel til imødegåelse af den globale opvarmning. Stort set alle energi- og klimaplaner, hvad enten det er den tidligere regerings Energistrategi 2050, Klimakommissionens rapport, Ingeniørforeningens eller Greenpeaces klima- og energistrategier, EU Kommissionens Roadmap 2050, etc. indeholder i større eller mindre grad udnyttelse af bioenergi som et virkemiddel, idet bioenergi klima- og energipolitisk generelt betragtes som CO<sub>2</sub>-neutralt.

Der er imidlertid en række argumenter mod denne betragtning fra den videnskabelige verden (Ref/1,3,4,6,7/) – også fra dele af den danske forskerverden (Ref/8/) - og dermed en berettiget tvivl om i hvor stor udstrækning bioenergi ud fra en klimamæssig betragtning kan substituere fossile brændsler. Også fra NGO-verdenen er der stigende bekymring over konsekvenserne af øget efterspørgsel på biomasse til energiformål. Som eksempel herpå kan nævnes Ref/10/, der er en særdeles kritisk gennemgang af de konsekvenser en øget efterspørgsel på bl.a. træpiller fra Vesteuropa har haft på de canadiske skove.

Som udgangspunkt er energi udvundet fra vind, vand og sol CO<sub>2</sub>-neutralt og det er da også disse kilder, der generelt peges på i strategier for samfund, der stræber efter ikke at være baseret på fossile brændsler. Imidlertid er der en række anvendelser af fossile brændsler, der kun vanskeligt – i hvert fald på kort sigt – lader sig afløse af el produceret på vind, sol og vand. Det gælder f.eks. olie til den kemiske industri (til produktion af materialer såsom plast) og det gælder drivmidler til fly, skibe og dele af den tunge vejtransport.

I en dansk kontekst, hvor den nuværende regering har et mål om at reducere udledningen af drivhusgasser med 40 % i 2020 i forhold til 1990, gælder endvidere, at biomasse i form af især træpiller og træflis er interessant fordi det relativt let kan substituere kul i de centrale kraftvarmeværker. Foretages denne substitution i stor stil, vil Danmarks CO<sub>2</sub> udledning på papiret falde markant.

Hvis det imidlertid er korrekt, at klimaeffekten af at erstatte fossile brændsler med biomasse er begrænset, så er dette selvsagt problematisk for en dansk

energipolitik, hvor et væsentligt formål faktisk er at mindske drivhusgasudledningen.

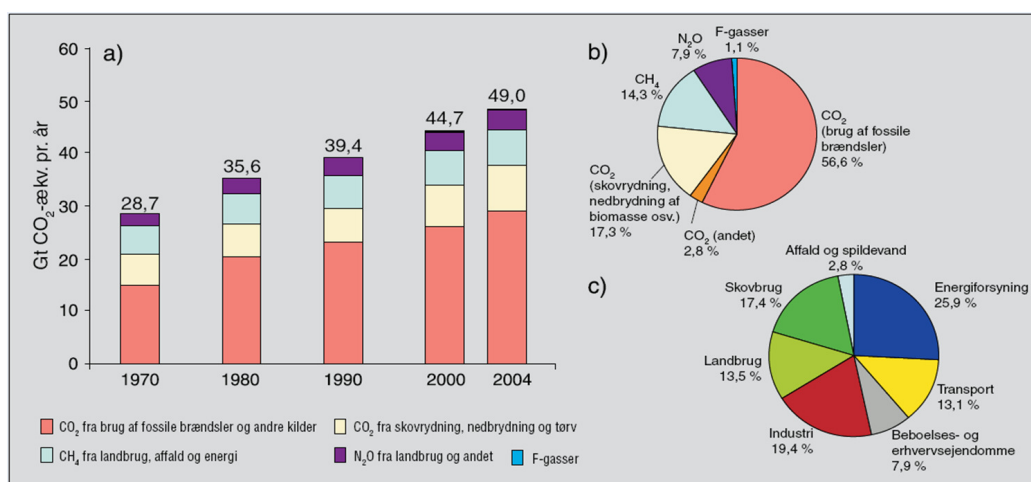
Denne rapport gennemgår nogle af de seneste argumenter i den videnskabelige debat og konkluderer på denne baggrund, at mængden af biomasse, der faktisk bidrager substantielt til nedbringelse af drivhusgasser pt. er begrænset og derfor kan brug af eksisterende bioenergiressourcer kun i begrænset omfang bidrage til reduktion af den globale udledning af drivhusgasser frem mod 2050.

Denne konklusion indebærer ikke, at bæredygtig biomasse ikke skal udnyttes eller søges produceret. Derimod indebærer konklusionen, at det er af afgørende betydning at lægge en strategi for en målrettet anvendelse og udbygning af ressourcen af bæredygtig biomasse. Samtidig er der behov for at få fastsat bæredygtighedskriterier for alle typer biomasse til energiformål.

## 2. Udledning af drivhusgasser og kulstoffets kredsløb

Menneskets udledning af drivhusgasser udgør i dag ca. 50 milliarder tons CO<sub>2</sub>-ækvivalenter (CO<sub>2</sub>e), se figur 1.

Som det fremgår udgør CO<sub>2</sub> fra fossile brændsler 56,6 % af udledningen, CO<sub>2</sub> som følge af ændringer i arealanvendelse, der primært skyldes stigende efterspørgsel på biomasse til fødevarer, foder, fibre og energi 17,3 %, medens resten især er metan og lattergas, hvor fødevarer- og biomasseproduktion udgør den væsentligste kilde. Samlet set giver produktion og efterspørgsel af biomasse (herunder fødevarer) anledning til en udledning af drivhusgasser af samme størrelsesorden som den samlede energiforsyning fra alle kraftværker i verden.

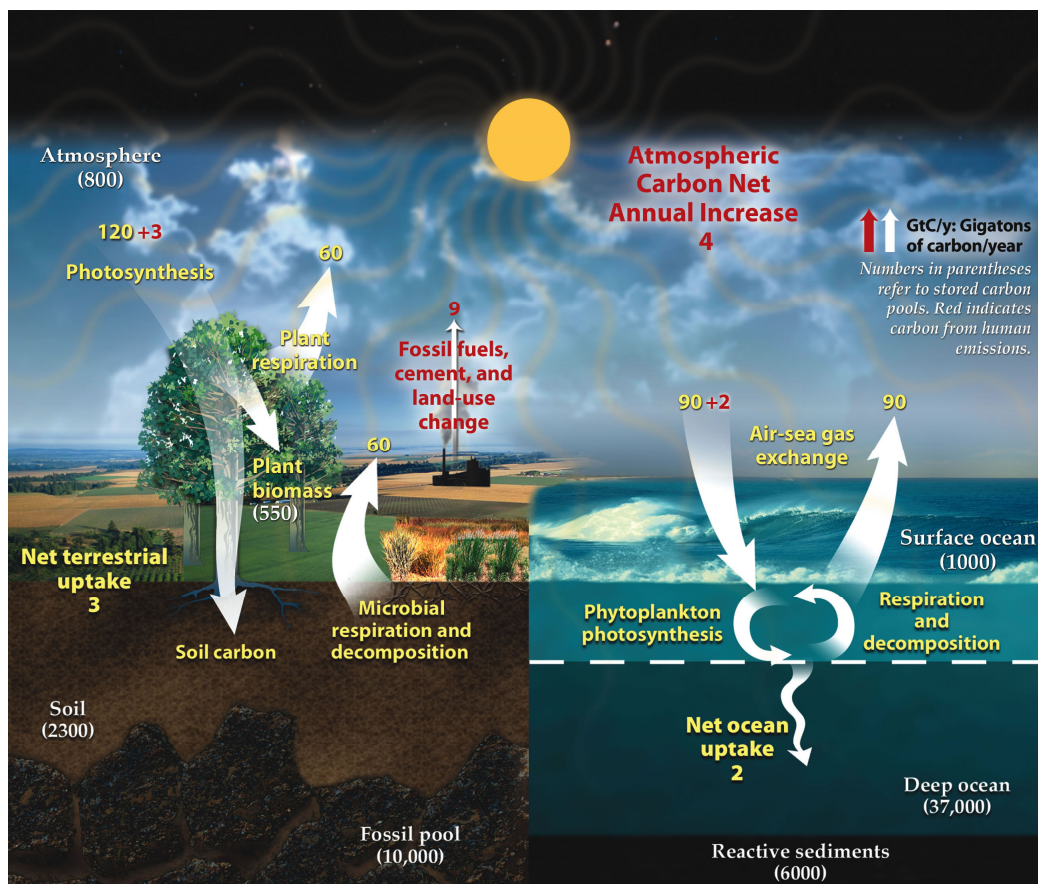


efter IPCC

For at opnå en rimelig chance for at holde den menneskeskabte globale temperaturstigning under 2 grader, skal udledningen i 2050 være halveret i forhold til udledningen i år 2000, dvs. at den samlede udledning skal ned på godt 20 Gt CO<sub>2</sub>e, svarende til at alt fossil CO<sub>2</sub> fjernes, uden at de øvrige udledninger stiger. Da det næppe vil lykkes helt at fjerne den fossile udledning af CO<sub>2</sub> i løbet af under 40 år, skal der derfor også ske omfattende reduktioner af nettoudledningen fra de øvrige kilder, hvilket aktualiserer debatten om bioenergis CO<sub>2</sub>-netralitet.

For lettere at forstå den videnskabelige debat og de mekanismer, der diskuteres i relation til bioenergi, er det vigtigt at tage afsæt i kulstoffets kredsløb.

En forsimplet gengivelse af kulstoffets kredsløb er vist på figur 2, hvor det er vigtigt at bemærke, at tallene i figuren er udtryk for kulstof (C) og ikke CO<sub>2</sub>. Skal kulstof omregnes til CO<sub>2</sub> skal C ganges med 3,7, således at 1 ton C bliver til 3,7 ton CO<sub>2</sub>.



Figur 2. Kulstoffets kredsløb. De røde tal er menneskeskabte udledninger, de gule er den naturlige cyklus, medens tal i parentes er opmagasineret kulstof. Alle tal er i milliarder ton C (Gt). Kilde: U.S. Department of Energy, Office of Science.

Betragtes først det opmagasinerede kulstof, fremgår det:

- At atmosfæren indeholder 800 Gt C
- At plantebiomassen på landjorden indeholder 550 Gt C
- At jorden (overjorden) indeholder 2300 Gt C
- At undergrunden indeholder 10.000 Gt C
- At oceanerne og oceanbunden samlet indeholder 44.000 Gt C.

Det er her vigtigt at bemærke, at plantebiomassen har et relativt stort lager i forhold til indholdet i atmosfæren, og at den årlige menneskelige udledning er relativt lille i forhold til det samlede lager i plantebiomassen. Det skal også bemærkes, at lageret i overjorden er meget stort, over fire gange større end det, der er bundet i plantebiomassen. Dette betyder, at der potentielt er relativt store puljer, der kan frigøres fra disse lagre til atmosfæren, hvis plantebiomassen og overjorden forvaltes uhensigtsmæssigt. Omvendt er der også muligheder for at øge de store puljer i biomassen og i jorden, således at man deri kan øge optaget af CO<sub>2</sub> fra atmosfæren.

Betragtes de gule tal i figuren, altså den "naturlige" kulstofcyklus uden det menneskeskabte bidrag, fremgår det:

- At oceanerne optager og afgiver 90 Gt C/år
- At terrestriske planter via fotosyntese optager 120 Gt C/år, som fordeles i planterne og i jorden, og som igen afgives ved planternes respiration (60 Gt C/år) og ved mikrobiel respiration og nedbrydning i og på jorden (60 Gt C/år).

Det er her vigtigt at bemærke, at den årlige omsætning i planterne og i jorden er mere end 10 gange større end den menneskeskabte udledning og at lageret i biomassen og i de øverste jordlag er ca. 300 gange større end den årlige menneskeskabte udledning. Forstyrrelser af dette system i form af f.eks. reduceret lager vil derfor kunne skabe en ubalance i systemet og en større koncentration af CO<sub>2</sub> i atmosfæren.

Betragtes endelig de røde tal i figuren, er disse som nævnt et udtryk for den menneskeskabte udledning. Det fremgår her:

- At den samlede udledning af C er 9 Gt/år (er i dag snarere 10-11 Gt C)
- At 2 af de 9 Gt optages i havet
- At 3 af de 9 Gt optages af planter og jord, da en højere CO<sub>2</sub> koncentration i atmosfæren fremmer plantevæksten
- At de resterende 4 Gt C akkumuleres i atmosfæren.



Det man især skal bemærke er, at over halvdelen af kulstoffet fra menneskelige aktiviteter optages i havet og af planter og jord, og at akkumuleringen i atmosfæren ville stige væsentlig hurtigere, hvis dette ikke var tilfældet. Samtidig frygter man dog, at stigende havtemperaturer og forsuring gør, at havet vil optage mindre CO<sub>2</sub> eller endog netto vil begynde at afgive CO<sub>2</sub> (en af de såkaldte negative feedback effekter).

Som det fremgår, er der et meroptag i biomassen på 3 Gt C/år som følge af højere CO<sub>2</sub>-koncentration i atmosfæren. Det vil sige, at i størrelsesordenen en tredjedel af de menneskeskabte CO<sub>2</sub> udledninger optages i biosfæren i form af en øget vækst. Det er væsentligt at bemærke, at dette *allerede* er indregnet i de klimamodeller der ligger bag de reduktionsmål for udledningen IPCC har opstillet, hvorfor udnyttelse af disse 3 Gt C/år ikke umiddelbart er en mulighed. Generelt viser tallene, at potentialet for at frigive store mængder CO<sub>2</sub> fra såvel den stående biomasse som fra jorden er meget stort, og det er da også menneskelige forstyrrelser af disse i form af bl.a. skovrydning, dræning, jordbearbejdning, generel landbrugsdrift mm., der gør, at den menneskeskabte udledning af drivhusgasser fra disse kilder er af samme størrelsesorden som den globale energisektor.

### **3. Regler for beregninger af biogent CO<sub>2</sub> og den videnskabelige kritik**

Som det fremgår af kulstofkredsløbet kan brug af bioenergi forrykke balancerne i udvekslingen af CO<sub>2</sub> mellem planter/jord og atmosfære, og kan derfor som udgangspunkt ikke automatisk betragtes som CO<sub>2</sub>-neutralt (Ref/1/).

På denne baggrund kan man spørge sig selv, hvorfor dette synes at være den gængse opfattelse i den klima- og energipolitiske debat. Baggrunden skal ifølge Ref/1/ søges i de politiske forhandlinger omkring de forskellige internationale traktater:

Ifølge den oprindelige vejledning til nationale emissionsopgørelser fra UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) skal de enkelte lande separat opgøre emissionerne fra Land Use Change (LUC og LU-LUCF, dvs. fra rydning af skov og landbrugsdrift mm.) og fra energisektoren.

CO<sub>2</sub> fra afbrænding af biomasse vil der på denne måde blive gjort rede for i LUC-opgørelsen, hvorfor den ikke også skal tælle med på afbrændingsstedet. Dette betyder logisk dog også, at hvis der ikke bliver gjort nøje rede for udledning/optag i LUC, skal CO<sub>2</sub> fra afbrænding af biomasse medtages i udledningen fra energisektoren. Dette regnskabsprincip er fornuftigt nok, men gør ikke biobrændstoffer CO<sub>2</sub>-neutrale.

Da biomasse samtidig er en international handelsvare kræver en afvigelse fra at tælle CO<sub>2</sub> fra afbrænding af biomasse med, at LUC-kortlægningen skal ske på globalt plan, da man jo ellers blot kan importere biomasse fra lande, der ikke redegør for LUC-udledningerne (Ref/1, 8/).

Forudsætningerne for at kunne negligere CO<sub>2</sub>-udledningen fra afbrændingen af biomasse (som per energienhed generelt udleder mere CO<sub>2</sub> end fossile brændsler (Ref/4/)) er ikke indeholdt i mange af de efterfølgende nationale og internationale traktater og reguleringer, som f.eks. Kyoto-protokollen, som kun i begrænset omfang kræver opgørelse af LUC-udledningerne, og som slet ikke kræver det på globalt plan.

EU's Klima- og Energipakke, der blandt andet fastslår, at Danmark skal reducere drivhusgasudledningen fra de ikke-kvoterede sektorer (landbrug, transport og boliger/virksomheder med individuel opvarmning/procesenergi) med 20 % i 2020 i forhold til 2005, medregner således ikke LUC. Dette indebærer, at tiltag som ophør af dræning af lavbundsjord i landbruget og binding af kulstof gennem skovrejsning, ikke kan tælles med som et virkemiddel. Det indebærer også at reduktion af kulstofmængder i vegetation og jord som følge af øget biomassefjernelse til energi heller ikke tælles med.

I forhold til energifremstilling af biomasse bliver konklusionen, at hvis LUC-udledningerne ikke opgøres i tilstrækkelige detaljer og på globalt plan, så bliver den CO<sub>2</sub>-udledning, der sker ved afbrænding af biomasse, nødt til at tælle med på afbrændingsstedet, da den ellers ville blive ignoreret (Ref/1/).

Ikke desto mindre har opfattelsen af, at biobrændstoffer er CO<sub>2</sub>-neutrale, indlejret sig i såvel den generelle befolkning som hos politikere og erhvervsledere og også i visse efterfølgende standarder inden for beregning af produkters CO<sub>2</sub>-udledning (Carbon Footprint), og dette har sat initiativer og projekter i gang som ved nærmere eftersyn muligvis ingen eller kun begrænset positiv effekt har på den globale opvarmning.

Det skal dog pointeres, at visse forskere mener, at man ikke behøver at tælle biogent CO<sub>2</sub> med i klimaregnskabet. Således har mere end 100 akademikere fra amerikanske universiteter for nyligt skrevet et brev til House of Representatives i USA, hvor de skriver (Ref/2/):

*'the combustion or decay of woody biomass is a part of the global cycle of biogenic carbon in circulation, and does not increase the amount of carbon in circulation. In contrast, carbon dioxide released from fossil fuels increases the amount of carbon in the cycle.'*

Argumentet her er, at det trods alt er at foretrække at nedbringe puljen af biogent bundet kulstof frem for at udlede fossilt bundet kulstof, da den biogene pulje på sigt kan blive opbygget igen. Dette brev har dog ført til en modreaktion fra andre dele af forskerverden (Ref/9/), med henvisning til, at denne opfattelse af biogent kulstof og udvekslingen med atmosfæren er for primitiv og simpel. Konkrete beregninger (se kap. 4) viser da også, at man vanskeligt kan betragte biogent kulstof ud fra en så enkel betragtning, specielt da puljerne i de biologiske lagre, jævnfør figur 1, er store og kan have relativt lange udvekslingstider mellem atmosfæren og biosfæren. Tidsaspektet mellem frigivelse og optag er således afgørende for bioenergiens rolle i forhold til her og nu at kunne bremse den globale opvarmning.

Brevet var i øvrigt et modsvar til et tidligere brev fra et tilsvarende antal forskere, der påpegede fejlen ved at regne bioenergi som CO<sub>2</sub>-neutralt.

### **EU's videnskabelige komité**

EU og hele ETS-systemet er i vid udstrækning baseret på de samme regnskabsprincipper som Kyoto-protokollen, og derfor er det bemærkelsesværdigt, at EU's<sup>1</sup> egen videnskabelige komité i ret klare vendinger i et notat fra september 2011 afviser at betragte bioenergi som CO<sub>2</sub>-neutralt (Ref/1/).

Komiteen anfører i sit notat:

- At EU's reguleringer og politiske mål bør revideres, så de kun fremmer brug af bioenergi fra additional biomasse og således, at den ikke påvirker fødevarerproduktion eller anden biomasseproduktion.
- Beregningsstandarder bør kun anvendes og accepteres, hvis de fuldt ud gør rede for ændringer af lagre og optag/frigivelse af kulstof i økosystemerne.
- Politikken inden for bioenergi bør fokusere på restprodukter i biomassen som f.eks. affald og residualer, dog ikke i et omfang hvor brugen af disse forringer dyrkningsjordens frugtbarhed.
- Beslutningstagere skal globalt justere forventningerne til den energi, man kan hente fra biomasse til alene at omhandle additional biomasse, uden at denne har en negativ påvirkning på de naturlige økosystemer.

Baggrunden for deres anbefalinger og de regnskabsmæssige problematikker, der relaterer sig til biomasse, kan illustreres med et eksempel (Ref/1/):

---

<sup>1</sup> Rettelig er det Det Europæiske Miljøagentur (EEA) videnskabelige komité. EEA er en EU-institution.

Hvis man forestiller sig et stykke land, der får lov at springe i skov, vil træerne optage CO<sub>2</sub> fra luften og lagre dem i veddet og i skovens jordbund. Skoven trækker på denne måde CO<sub>2</sub> ud af atmosfæren, og lagrer det i en relativt lang periode.

Hvis man i stedet for at lade skoven gro bruger den som bioenergi, f.eks. til træpilleproduktion til brug i et kraftværk, vil træpillerne fortrænge fossil energi, men den mængde CO<sub>2</sub> der kommer op af kraftværkets skorsten vil ikke blive mindre – tværtimod, da bioenergi typisk udleder mere CO<sub>2</sub> per energienhed end fossile brændstoffer (se kap 4 og Ref/4,6,7,8,9). Ifølge den videnskabelige komite (Ref/1/) bør kun den mængde CO<sub>2</sub>, der kommer ud af skorstenen, hvor opbygningen af kulstof i energiafgrøderne er større end den ville være i den naturlige skov, tælle som CO<sub>2</sub>-neutral energi, hvilket i meget væsentlig omfang vil reducere CO<sub>2</sub> neutraliteten for biomassen. I Ref/4/ (se kap.4) er dette element indbygget i beregningerne for udledningen fra canadiske træpiller.

Forenklet sagt vil brug af fossile brændsler på kraftværket reducere den mængde kulstof, der er lagret i undergrunden, medens brugen af bioenergi vil reducere den mængde kulstof, der er lagret i jorden og i biomassen. Begge vil som udgangspunkt føre til et øget CO<sub>2</sub> indhold i atmosfæren (Ref/1/).

### **Tidsperspektivet**

Tidsperspektivet i lagring og frigørelse af biogent kulstof er relevant i disse overvejelser. For at nå 2-gradersmålet skal den globale udledning af CO<sub>2</sub> mere end halveres inden år 2050. Men afbrænder man f.eks. træ, der har optaget CO<sub>2</sub> i sin vækst for 25 eller 50 år siden, reducerer dette ikke CO<sub>2</sub> koncentrationen i atmosfæren, tværtimod. Er træet derimod dødt og under nedbrydning kan det betragtes som et residualprodukt, og her kan afbrænding af træet til energiformål ud fra en CO<sub>2</sub>-betragtning bedre forsvares, se dog kapitel 4.

Ligeledes hjælper det heller ikke noget at bruge levende træer til bioenergi under den forudsætning at nye træer vil vokse op hvor de gamle træer stod, hvis målet er at reducere udledningen af drivhusgasser til atmosfæren inden 2050, da de nye træer først fuldt ud vil have neutraliseret CO<sub>2</sub> udledningen fra afbrændingen af de gamle træer efter 50-150 år, afhængig af driftsform, jordbund, klima og træsort.

Dette er ikke til hinder for, at man udnytter skovens produkter fra eksempelvis danske skove, der generelt drives på en måde, hvor der er en balance mellem udtag og optag af kulstof. Pointen her er blot, at disse træprodukter i stor udstrækning *allerede* i dag udnyttes fuldt ud til møbler, byggematerialer, brændsel med mere. Hvis ønsket er at erstatte *yderligere* fossile brændsler med biomasse, så vil det som udgangspunkt medføre et merudtag af kulstof i forhold til

i dag. Samtidigt skal der, som nævnt ovenfor, tages hensyn til det meroptag af kulstof i biomassen der er inkluderet i klimamodellerne, hvorfor kulstof bundet i biomassen skal vokse som basisscenarie og ikke være status quo.

Derimod vil udnyttelse af eksempelvis halm som udgangspunkt være uproblematisk ud fra et tidsperspektiv, da ny halm vil opsuge hvad afbrændingen af halmen fra året før udledte af CO<sub>2</sub>. Alternative anvendelser af halm kan dog også have en positiv CO<sub>2</sub>-effekt som nedmuldning eller til foderbrug, hvorfor selv afbrænding af halm ikke nødvendigvis er CO<sub>2</sub>-neutralt.

### **Energiafgrøder**

Man kan argumentere for, at erstatter man en kornmark med energiafgrøder, vil mer-lagringen af kulstof i energiafgrøderne i forhold til i kornmarken medføre CO<sub>2</sub>-neutralitet ved afbrænding. Dette regnestykke holder dog kun, hvis man accepterer en nedgang af den globale foder- og fødevarerproduktion som konsekvens af de arealer, man ophører med at dyrke til de formål. Den globale konsekvens af, at man dyrker energiafgrøder i stedet for korn på en given mark, vil typisk være en kombination af tre effekter (Ref/1,8/):

1. Den globale foder- og fødevarerproduktion falder, hvilket alt andet lige vil føre til højere kornpriser, og ifølge Ref/1/ dermed øgede fattigdomsproblemer. Som Ref/1/ anfører: *“If food crops are used for bioenergy and not replaced, so fewer crops are consumed, there is a reduction in GHGs which occurs physically because people and livestock release less CO<sub>2</sub> to the atmosphere. However, reducing consumption of food by increasing prices is not a desirable way of reducing GHGs.”*<sup>2</sup>
2. Den manglende korn på verdensmarkedet kompenseres ved, at produktionen øges ved intensivering (de stigende priser vil give incitament hertil). Øget intensivering kan dog øge udledningen af drivhusgasser bl.a. pga. en større lattergasemission (Ref/3, 11/), og denne øgning skal tælle med i udledningen, når biomassen afbrændes. En intensivering af landbrugsproduktionen behøver dog ikke at føre til øgede udledninger, hvis det sker med anvendelse af moderne og bæredygtige landbrugsmetoder, og der er mange steder i verden stort et uudnyttet potentiale for øget landbrugsproduktion. Man kan dog ikke som køber af biomasse på et internationalt marked fra dansk side på forhånd bestemme, at den manglende kornproduktion skal kompenseres på denne vis. Dette kræver i stedet fokus på bæredygtig udvikling og udbygning af landbrugssektoren på globalt plan.

---

<sup>2</sup> Det kan dog også i et vist omfang føre til kostomlægninger fra kød til mere vegetabilske fødevarer pga. stigende kornpriser (foder). I dette tilfælde vil bioenergiafgrøderne kunne betragtes som CO<sub>2</sub>-neutrale.

- Den manglende korn på verdensmarkedet kompenseres ved at øge landbrugsarealerne, i de fleste tilfælde ved at rydde skov. I dette tilfælde vil dyrkning af energiafgrøder på 1 hektar medføre rydning af skov på 1 hektar et andet sted på jorden (ved samme frugtbarhed af jorden), hvilket netto kan øge udledningen af CO<sub>2</sub> fra energiafgrøden betydeligt i forhold til de fossile brændstoffer (Ref/3, 8/).

Der er risiko for fejlregninger for CO<sub>2</sub>-udledningen fra de forskellige typer af biomasse, og EEA har opgjort dette i tabel 1.

Source of biomass	Degree of likely accounting error
Converting forests currently sequestering carbon to bioenergy crops	Very high
Harvesting live trees for bioenergy and allowing forest to regrow	High
Diverting crops or growing bioenergy crops on otherwise high-yielding agricultural land	High
Using crop residues	Variable
Planting high-yielding energy crops on unused invasive grasslands	Low
Using post-harvest timber slash	Little or none
Using organic wastes otherwise deposited in landfill	Little or none

**Tabel 1. Risiko for fejlregninger ved antagelse om CO<sub>2</sub>-neutralitet for brug af bioenergi. Fra Ref/1/**

Som det fremgår, vil det meste brug af eksisterende skove eller eksisterende landbrugsjord generelt være problematisk, med mindre der alene bruges restprodukter. Restprodukter udgør dog kun en lille del af den samlede biomasse, hvorfor det energirelaterede potentiale reduceres markant (se kapitel 4).

### **CO<sub>2</sub>-neutral biomasse**

Der er typer af biomasse, der er CO<sub>2</sub>-neutrale: Ved plantning af energiafgrøder på jorder der ikke anvendes til landbrugsdrift og som ikke er beplantet med skov (f.eks. arealer med invasive græsser), vil energiafgrøderne hverken ændre kulstoflagret i negativ retning, eller have negative ILUC konsekvenser (Ref/1/). I nogle tilfælde kan der endda være betydelige positive effekter for klimaet. Det gælder f.eks. plantning af flerårige energiafgrøder på udpint landbrugsjord, hvor sådanne afgrøder er med til at genopbygge puljen af kulstof i jorden og dermed lagre kulstof udover det der produceres i biomassen til energi.

Ligeledes vil eksempelvis anvendelse af nye kornsorter med længere strå kunne øge mængden af tilgængelig biomasse uden at det går ud over fødevarerproduktionen og uden at det har negative effekter på ILUC eller kulstoflageret, under forudsætning af, at kornudbyttet er uændret. Og anvendes græs fra vedvarende

græsarealer eksempelvis til biogasproduktion, vil dette også være bæredygtigt. Et endnu større potentiale ligger formentlig i udvikling og forædling af decide-rede bioenergi afgrøder, som er tilpasset dyrkning på marginaljorder (jorder der ikke er egnet til fødevareproduktion) og som også har høje energiudbytter set i forhold til anvendelse i energisektoren. Desuden ligger der muligheder i en kombineret produktion af fødevarer, foder og bioenergi gennem udvikling af højproduktive landbrugsafgrøder til anvendelse i bioraffinaderier.

#### **4. CO<sub>2</sub>-udledning ved brug af biomasse**

Som det fremgår af de foregående kapitler, lever meget af den biomasse vi i dag bruger til energiformål ikke op til forudsætningen om, at brug af biomasse til energiformål er CO<sub>2</sub>-neutral, og visse typer biomasse vil endda øge udslippet af CO<sub>2</sub> ved brug til energiformål i forhold til at bruge fossile brændstoffer, når alle udledninger relateret til biomassen medtages (Ref/1,4,6,9/).

##### **Træpiller**

En af de vigtige potentielle energikilder i fremtidige biomasse-baserede energisystemer vil være træpiller/træflis, hvilket også kan være en af de vigtigste elementer i et fremtidigt dansk energisystem. Det er derfor væsentligt at vurdere de klimamæssige konsekvenser af brug af træpiller i energiforsyningen nærmere. Træpiller til europæisk og dansk energiforsyning vil typisk blive importeret fra f.eks.. Canada, Rusland og Baltikum.

Der er ikke så mange studier af klimaeffekten ved brug af træpiller i energiforsyningen, men for nyligt har McKechnie et al. (Ref/4/) lavet et detaljeret studie af klimaeffekten fra træ og træpilleproduktion i Canada, og effekten på CO<sub>2</sub> udledningen ved at lade denne erstatte fossile brændsler.

I deres undersøgelser sammenkører de en lang række modeller, og tager udgangspunkt i kulstofbalancen i et 5,25 millioner ha stort skovområde i Canada (et areal, der er noget større end Danmark).

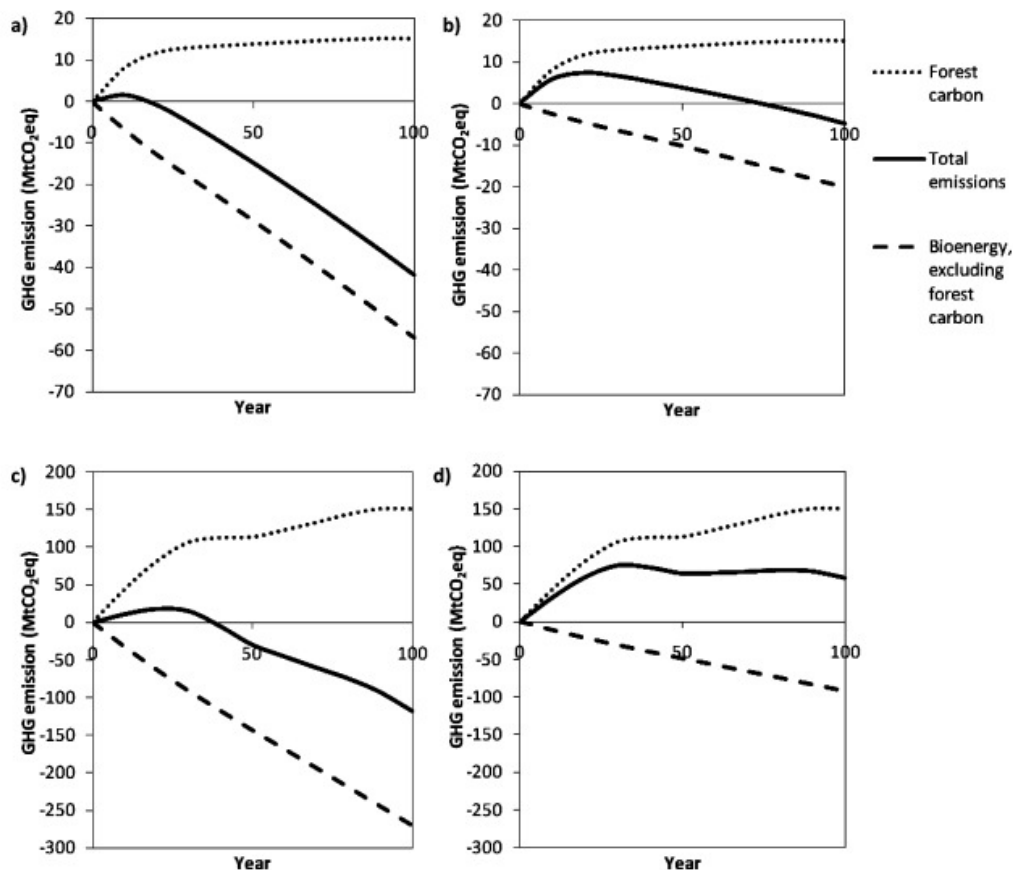
Skovens lager og ændring i optag af kulstof ved forskellige former for produktion af bioenergi modelleres, og der tages hensyn til ændringer i kulstof lagret i den levende vedmasse, jorden, døde træer og trædele, skovbunden og i rodnettet. Modellen tager også hensyn til rydningsplaner, træarter, aldersfordelinger, naturlige forstyrrelser, vækstrater og succession.

Studiet fokuserer på fire områder:

- Træpilleproduktion af restprodukter fra skove
- Træpilleproduktion fra primære træer

- Træ til bioethanolproduktion til erstatning af benzin (E85) fra restprodukter
- Træ til bioethanolproduktion til erstatning af benzin (E85) fra primære træer.

Resultatet af modelleringerne af den endelige CO<sub>2</sub> udledning ved brug af disse typer bioenergi i stedet for fossil energi er vist i figur 3.



Cumulative GHG emissions from continuous biomass harvest for bioenergy production: (a) pellets produced from residues, displacing coal (20% cofiring), (b) ethanol produced from residues, displacing gasoline (E85 fuel), (c) pellets produced from standing trees, displacing coal (20% cofiring), and (d) ethanol produced from standing trees, displacing gasoline (E85 fuel). Positive values indicate an increase in GHG emissions to the atmosphere.

Figur 3. Udledning af CO<sub>2</sub> ækvivalenter ved brug af forskellige typer bioenergi i forhold til fossile brændsler. Fra Ref/4/

Figuren viser:

- Ved brug af træpiller produceret af restprodukter i ellers kulfyrede kraftværker, vil CO<sub>2</sub>e-udledningen være marginalt højere i de første 16 år (a), i forhold til, hvis man fortsatte alene med fossile brændsler.
- Ved brug af primær træ til produktion af træpiller til erstatning for kul i kraftværker, vil CO<sub>2</sub>e udledningen være højere i de første 38 år (c), i forhold til fortsat brug af kul.



- Ved brug af restprodukter af træ til bioethanolproduktion, vil CO<sub>2</sub>e udledningen være større i de første 74 år (b), i forhold til fortsat brug af benzin i transportsektoren.
- Ved produktion af bioethanol fra primær træ vil CO<sub>2</sub>e udledningen vedvarende (>100 år) være højere (d) end ved fortsat brug af benzin i transportsektoren.

Undersøgelsen viser, at selv ved brug af restprodukter er der en ret lang tidsperiode, hvor den samlede CO<sub>2</sub>e udledning vil stige, og ved brug af primær træ vil tidsperioden være så lang, at bioenergi af denne type ikke vil være i stand til at opfylde de reduktionskrav vi har for 2050, og slet ikke kunne følge den reduktionssti (den lineære reduktion), som er nødvendig at følge for at opfylde 2-graders målet.

Man kan i teorien som køber af træpiller forlange, at de træpiller eller den bioethanol, man køber, alene må være lavet af restprodukter. Men på verdensmarkedet vil en samlet større efterspørgsel efter træpiller reelt indebære at træpiller vil blive lavet af primær træ med kun en lille andel af restprodukter, da mængden af restprodukter rent fysisk er marginal i forhold til den potentielle mængde fra primært træ (Ref /1,4,8,10/).

Og selv hvis der på markedet udbydes en lille mængde bæredygtige træpiller lavet af residualer, så vil resten af træpillerne på verdensmarkedet blot bestå af så meget mere primær træ, at den samlede klimaeffekt fortsat er negativ inden for den relevante tidshorisont.

Konklusionen og resultaterne i den canadiske undersøgelse understøttes i Ref/7/, som skriver:

*“When harvest residues, previously left on the forest floor are extracted for bioenergy, there is a carbon stock loss in the dead wood, litter and soil pools. It was estimated that the mitigation potential of such bioenergy material in a 20 year time horizon is reduced by 10-40% by this loss (CN=0.6-0.9).”*

Og videre:

*“Additional fellings for bioenergy can produce a decrease of the overall carbon stock in the forest that significantly affects the GHG balance of the bioenergy material. In the short-medium term (20-50 years), additional fellings could produce more emissions in the atmosphere than a fossil fuel system (CN<0). In such a case, the use of additional fellings would produce only very long term benefits, in the order of magnitude of 2-3 centuries.”*

## **Global Warming Potential**

I Ref/6/ er der udarbejdet en matematisk model der ikke er stedsspecifik, men har generel anvendelse. Den baserer sig på, at forfatterne har udviklet et GWP (Global Warming Potential: bruges på drivhusgasser som CO<sub>2</sub>, metan og lattergas, og hvor CO<sub>2</sub> har en GWP=1) der specifikt går på biogent CO<sub>2</sub>, og som de kalder GWP<sub>bio</sub>.

GWP<sub>bio</sub> udregnes på baggrund af rotationscyklus for den pågældende afgrøde (korn har en meget lav rotationscyklus (1 år), skove en lang rotationscyklus (>50 år)), og i forhold CO<sub>2</sub>'s balance i kulstofkredsløbet over den tidsperiode der betragtes. Afhandlingen medtager ikke udledninger ud over det biogene C der afbrændes, dvs. ikke opstrøms energi eller LUC/ILUC som det canadiske studie helt eller delvist har medtaget i deres analyse.

Konklusionen er, at for afgrøder med meget kort rotationscyklus er GWP<sub>bio</sub> logisk nok meget lille (og dermed er drivhuseffekten fra den biogene C lav), da der er kort tid mellem optagelse og afgivelse af kulstof.

Betragtes potentielle biobrændstoffer med lang rotationscyklus, f.eks. skove med en rotationscyklus på 100 år, og ser man på drivhuseffekten over en 100-årig periode, så vil GWP<sub>bio</sub> være omkring 0,4, svarende til en CO<sub>2</sub>-reduktion på 60 %. Afhængig af forudsætninger kan GWP<sub>bio</sub> dog være over 1 i visse tilfælde, dvs. ingen positiv effekt fra brugen af biobrændstoffet, og under alle omstændigheder er brugen af træet ikke CO<sub>2</sub>-neutralt.

Betragtes det samme scenarie over en tidsperiode på 20 år, vil GWP<sub>bio</sub> være fra 0,9 til 1,4, dvs. en meget lille eller negativ fordel i forhold til udledning af fossil CO<sub>2</sub>. Dette skyldes, som tidligere nævnt, at de nye træer ikke på 20 år kan nå at kompensere for udledningen af CO<sub>2</sub> fra de gamle træer, hvis plads i skoven de erstatter.

I betragtning af at det canadiske studie (Ref/4/) har flere parametre med i deres modeller, stemmer de to modeller godt over ens, og drager de samme konklusioner.

Betragtningerne omkring drivhuseffekten af biogent kulstof har også konsekvenser for dansk produceret bioenergi fra f.eks. halm. Dels er de lerede danske jorde begyndt at vise tegn på mangel på organisk stof pga. vedvarende fjernelse af halm fra markerne (jf. pers. komm. Jørgen E. Olesen, AU), dels har halm, der nedpløjes, en kulstofakkumulerende og gødningsmæssig effekt, og endelig udnyttes en ret stor del af halmen allerede til kraftværker og foder. Fjernes halmen fra kraftværkerne for at bruge den til anden bioenergi vil kraftværkerne givet i stedet fyre med træpiller, og dermed vil den samlede udled-

ning af CO<sub>2</sub> potentielt kunne øges frem mod år 2050. Omvendt vil en merproduktion af halm gennem anvendelse af sorter med længere strå og samme mængde korn kunne betragtes som tilnærmelsesvis CO<sub>2</sub>-neutral.

## **5. Konklusion og konsekvenser for nationale og internationale målsætninger og virkemidler.**

Konsekvenserne af, at bioenergi, som det gælder i Kyoto-aftalen og i EU's klima- og energipakke per definition er CO<sub>2</sub>-neutral, må betegnes som omfattende og problematiske.

Dels er det kun en lille mængde af den tilgængelige biomasse, der reelt er CO<sub>2</sub>-neutral, hvorved den samlede belastning af atmosfæren med drivhusgasser systematisk undervurderes, især på kort og mellemlangt sigt, da både Danmark og EU som sådan ikke indregner LUC og ILUC i lande udenfor EU, hvorfra biomasse importeres. Dels vil tidsperspektivet indebære, at en øget efterspørgsel af biomasse fra selv bæredygtigt drevet skovbrug ikke i nævneværdig grad inden år 2050 vil bidrage til nedbringelsen af CO<sub>2</sub> udledningen til atmosfæren.

EU's videnskabelige komite (Ref/1/) peger konkret på flere centrale EU forordninger og traktater, som efter deres opfattelse hviler på et forkert grundlag.

- EU's kvotesystem, ETS, ignorerer udledningen af CO<sub>2</sub>e fra biomasse, og definerer den som CO<sub>2</sub>-neutral.
- EU's direktiv for vedvarende energi (som sætter et mål for vedvarende energi i EU på 20 % i 2020) definerer specifikt bioenergi som CO<sub>2</sub>-neutralt.
- EU's direktiver om fornybare brændstoffer i transportsektoren tager for nuværende ikke hensyn til ILUC (Indirect Land Use Change), og har derfor indbygget en væsentlig fejlkilde.

Det samme er tilfældet for den danske energistrategi, og muligvis den nye regerings mål om en 40 % CO<sub>2</sub> reduktion i Danmark inden 2020, samt for en del af det arbejde der er udført af Klimakommissionen og som omfatter scenarierne med en betydelig import af biomasse. I de af Klimakommissionens scenarier, der bygger på dansk produceret biomasse er disse problemer mindre, idet der i stort omfang er taget højde for både ILUC og andre effekter. Problemstillingen blev dog ikke ignoreret af Klimakommissionen, der havde som en af sine væsentlige anbefalinger: "At der udarbejdes bæredygtighedskriterier for al bioenergi, som anvendes i EU".

I det omfang CO<sub>2</sub>-reduktionerne er baseret på bioenergi, uden at de samlede udledninger, der er relateret til brugen af bioenergi, er medtaget, vil reduktio-

nerne i bedste fald have en reduceret effekt, og i værste fald ingen eller sågar en negativ effekt:

Hvis der som led i den danske energistrategi satses på at omstille de danske kulkraftværker til træpiller med en CO<sub>2</sub>-profil som den der er modelleret i Ref/4/, vil den reelle udledning ikke blive reduceret nævneværdigt frem mod 2050 (og slet ikke mod 2020), og da træpiller i ETS-systemet betragtes som CO<sub>2</sub>-neutralt vil det frigøre CO<sub>2</sub> kvoter i EU som vil føre til øget udledning af CO<sub>2</sub> andre steder i EU. Nettoresultatet af dette kan altså være, at CO<sub>2</sub> udledningen fra energiproduktion på de danske kraftværker reelt fordobles, fordelt som en øgning af udledningen i eksempelvis Canada (som ikke fører regnskab med sin LULUCF ift. Kyotoprotokollen), og en øgning af udledningen fra kvo-teomfattede kilder andre steder i Europa.

Det er derfor CONCITO's vurdering, at man fra såvel teknisk som fra politisk side bliver nødt til at revurdere effekten af brugen af de forskellige typer bioenergi, herunder hvor stor en bæredygtig ressource såvel Danmark som resten af verden kan levere. Der er samtidig brug for en væsentlig forsknings- og udviklingsindsats inden for både landbrugs- og biomasseproduktion for at øge biomasseressourcen uden at det går ud over fødevarerforsyningen eller øger presset yderligere på biodiversitet og andre naturressourcer (Ref /12/).

I den forbindelse henledes opmærksomheden på det brev og tilhørende notat, som Landbrug & Fødevarer, Dansk Energi og CONCITO fremsendte til daværende klima- og energiminister Lykke Friis i september 2010. Heri skrev de tre organisationer bl.a.:

*På kort sigt er der en stor uudnyttet biomasseressource i og uden for EU og i Danmark. Strategisk prioritering af denne biomasse, så der opnås den mest effektive og bæredygtige udnyttelse af de forskellige former for biomasse, bør stå centralt i en handlingsplan for biomasse. Derfor er der behov for varige midler til forskning og udvikling af danske biomasseressourcer og de relaterede teknologier.*

*På lidt længere sigt kan det på grund af stigende global efterspørgsel være en udfordring at skaffe biomasse på et bæredygtigt grundlag og til konkurrencedygtige priser. Et centralt element i en national handlingsplan for biomasse bør derfor være, hvordan man sikrer, at den anvendte biomasse er bæredygtig, det vil sige reelt fører til en reduceret udledning af drivhusgasser, beskyttelse af økosystemfunktioner og den biologiske mangfoldighed. Dertil kommer at produktionen af biomasse er socialt og økonomisk bæredygtig og sikrer genanvendelse af essentielle ressourcer såsom kulstof og fosfor.*

*På lang sigt vil biomasse i stigende grad skulle anvendes i bioraffinaderier og i energiproduktionen. Biomassens energiindhold skal opgraderes og kulstof skal recirkuleres i energi- og industrisystemer for at sikre et bæredygtigt biomasseforbrug.*

Organisationerne anbefaler derfor at der snarest udarbejdes en national handlingsplan for biomasse.

Nærværende rapport understreger relevansen af denne anbefaling.

*Videnschef Torben Chrintz og direktør Thomas Færgeman  
CONCITO  
Frederiksberg, 23. november 2011*

## 6. Referencer

1. Opinion of the EEA Scientific Committee on Greenhouse Gas Accounting in Relation to Bioenergy; European Environment Agency, Scientific Committee, 15 September 2011.
2. Lippke B. et al.: Letter to US House of Representatives Energy & Commerce Committee and US House of Representatives Natural Resource Committee, 20 July 2010.
3. Schmidt J H, Reinhard J, and Weidema B P (2011): Modelling of indirect land use changes in LCA. report v2. 2.-o LCA consultants, Aalborg [http://www.lca-net.com/projects/iluc\\_model/](http://www.lca-net.com/projects/iluc_model/)
4. McKechnie et al.: Forrest Bioenergy or Forrest Carbon? Assessing Trade-Offs in Greenhouse Gas Mitigation with Wood-Based Fuels; Environ. Sci. Technol. 2011, 45, 789–795
5. Sonja van Renssen: A biofuel conundrum; Nature Climate Change, Vol 1 Nov. 2011
6. Cherubini, F. m.fl: CO<sub>2</sub> emissions from biomass combustion for bioenergy: atmospheric decay and contribution to global warming; GCB Bioenergy (2011) 3, 413–426
7. Giuliana Zanchi m.fl.: The upfront carbon debt of bioenergy: JOAN-NEUM RESEARCH, May 2010.
8. Det Danske Center For Miljøvurdering, Aalborg Universitet, Åbent brev til klimaministeren, 7. Nov. 2011.
9. Gunn, J.S. m.fl: Biogenic vs. geologic carbon emissions and forest biomass energy production; GCB Bioenergy, August 2011
10. Greenpeace: Fuelling a BioMess; Why Burning Trees for Energy Will Harm People, the Climate and Forests, Oktober 2011.
11. IPCC: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan (2006).
12. Foley, J.A. m.f.: Solutions for a cultivated planet. Nature 2011, 478, 337-342.

## 7. Referencer i EEA's videnskabelige komités rapport:

1. Baldocchi et al. (2008) *Aust J Botany* 56: 1-26 / Le Quéré et al. (2009) *Nature Geosci* 2: 831-836 / Richter and Houghton (2011) *Carbon Management* 2(1), in press.
2. Blanco-Canqui and Lal (2009) *Crit Rev Plant Sci*, 28, 139-163
3. Searchinger et al. (2008) *Science* 319, 1238-1240 / Searchinger (2009) *Science*, 326, 527-528 / Searchinger (2010) *Environm. Res. Lett.*, 5, doi:10.1088/1748-9326/5/2/024007
4. Fargione et al. (2008). *Science* 319, 1235-1238
5. Pan et al. (2011) *Science* 333: 988-993 / Richter and Houghton (2011) *Carbon Management* 2(1), in press / Erb et al. (2008) *J Industr. Ecol.*, 12, 686-703.
6. Haberl et al. (2003) *Land Use Policy*, 20, 21-39.
7. Cherubini et al. (2011) *GBC Bioenergy*, doi: 10.1111/j.1757-1707.2011.01102.x, Cherubini et al. (2011) *Ecol. Modell.*, doi:10.1016/j.ecolmodel.2011.06.021 (in press).
8. Searchinger (2009) *Science*, 326, 527-528.
9. Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC, as subsequently amended. For full documentary history, see [http://ec.europa.eu/clima/documentation/ets/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/documentation/ets/index_en.htm), for an overview see [http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm).
10. DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/E.
11. DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:en:PDF>)
12. Directive 2009/30/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 98/70/EC as regards the specification of petrol, diesel and gas-oil and introducing a mechanism to monitor and reduce greenhouse gas emissions and amending Council Directive 1999/32/EC as regards the specification of fuel used by inland waterway vessels and re-

pealing Directive 93/12/EEC (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32009L0030:EN:NOT>)

13. International Energy Agency (2008), Energy technology perspectives: Scenarios and strategies to 2050. IEA, Paris.
14. UNFCCC Secretariat (2008), Challenges and opportunities for mitigation in the agricultural sector, Technical Paper (FCCC/TP/2008/8, Geneva) <http://unfccc.int/resource/docs/2008/tp/08.pdf>, p. 23.
15. Haberl et al. (2007), Proc. Natl. Acad. Sci., 104, 12942-12947. The figures in exajoules are computed from the quantities of biomass harvested for different human purposes set forth in this paper as well as in Krausmann et al. (2008). Ecol Econ 65: 471-487.
16. Millennium Ecosystem Assessment (2005). Ecosystems and Human Well-Being. Washington, D.C.: Island Press
17. Erb et al. (2010) J Land Use Sci, 2, 191-224 / UNEP (2007) GEO-4 Environment for Development. Nairobi: UNEP.
18. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. 2007. Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. London: Earthscan, and Colombo: International Water Management Institute.
19. Gruber and Galloway (2008) Nature 451, 293-296 / Erisman et al. (2008) Nature Geosci 1, 636-639.
20. IAASTD (2009) Agriculture at a Crossroads. Washington, D.C.: Island Press.
21. See <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:en:PDF> (Annex V).
22. Alberici et al. (2010) Annotated example of a land carbon stock calculation using standard values. Ecofys, London.