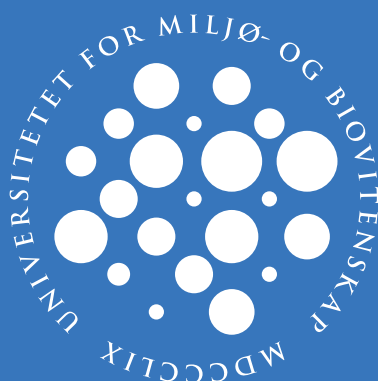


INA FAGRAPPORT 11

KLIMAGASSER OG BIOENERGI FRA LANDBRUKET - KUNNSKAPSSTATUS OG FORSKNINGSBEHOV

RAPPORT UTARBEIDET PÅ OPPDRAG FRA: STYRET FOR FORSKNINGSMIDLER OVER
JORDBRUKSAVTALEN, FONDET FOR FORSKNINGS AVGIFT PÅ LANDBRUKSPRODUKTER
OG NORGES FORSKNINGSRÅD

I REDAKSJONEN: ERIK TRØMBORG, ANDERS NIELSEN OG HANS FREDRIK HOEN



UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
INSTITUTT FOR NATURFORVALTNING
2007

ISSN 1503-9439

Klimagasser og bioenergi fra landbruket - kunnskapsstatus og forskningsbehov

Rapport utarbeidet på oppdrag fra Styret for forskningsmidler over Jordbruksavtalen, Fondet for forskningsavgift på landbruksprodukter og Norges forskningsråd

I redaksjonen: Erik Trømborg, Anders Nielsen og Hans Frederik Hoen

Bidragstere:

Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap (IHA), UMB

Erling Thuen, Odd Magne Harstad, Torstein H. Garmo, Harald Volden, Øystein Holand

Institutt for kjemi, bioteknologi og matvitenskap (IKBM), UMB

Svein Jarle Horn, Vincent Eijsink

Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT), UMB

John Morken, Petter Heyerdahl

Institutt for naturforvaltning (INA), UMB

Anders Nielsen, Hanne Sjølie, Birger Solberg, Erik Trømborg

Institutt for plante og miljøvitenskap (IPM), UMB

Lars Bakken, Trine Aulstad Sogn

Bioforsk jord og miljø

Tormod Briseid, Arne Grønlund

Norsk institutt for skog & landskap

Simen Gjølshj, Bjørn Langerud, Nicholas Clarke

FORORD

Universitetet for Miljø- og Biovitenskap (UMB) har på oppdrag fra Norges forskningsråd og i samarbeid med Bioforsk og Norsk Institutt for Skog og Landskap, laget en utredning som viser hovedutfordringer og forskningsbehov knyttet til bioenergi og klimagassutslipp fra landbruket. Landbruk defineres her bredt slik det er gjort i LMD sin strategi: Strategi for forskning og forskningsbasert innovasjon 2007-2012.

Arbeidet er initiert av et samarbeid mellom Styret for forskningsmidler over Jordbruksavtalen, Fondet for forskningsavgift på landbruksprodukter og Forskningsrådet.

Som ett ledd i denne prosessen ble det på Studentsamfunnet på Ås 11. oktober 2007 holdt et seminar i regi av forskningsrådet hvor programstyrer, forskere og beslutningstagerer knyttet til FoU-aktivitet hos myndigheter, organisasjoner og bedrifter var representert. Sentrale problemstillinger rundt kunnskapsstatus og FoU-behov ble diskutert. Presentasjoner fra seminaret er tilgjengelige på www.umb.no/fornybar. Vi takker deltakerne på seminaret for konstruktive og poengterte innspill, både gjennom innleggene og i diskusjonen.

Vi håper at rapporten vil være et nyttig underlag for framtidige dialoger og strategiske valg og slik bidra til at prioriteringer av FoU-aktivitet på dette området gjøres på et best mulig kunnskapsgrunnlag.

Alle bidragsyterne takkes for innsatsen og velvillig innstilling. En spesiell takk rettes til Erik Trømborg som har vært prosjektleder og sørget for framdriften i arbeidet og til Anders Nielsen som har hatt sekretærrollen og holdt styr på alle innspill og versjoner under marsjen.

Det er siden oversendelsen av rapporten 15. november 2007 gjort noen språklige endringer i teksten.

Ås, 16. januar 2008

Hans Fredrik Hoen

SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

BAKGRUNN FOR ARBEIDET

Universitetet for miljø- og biovitenskap fikk i mai 2007 i oppdrag fra Norges Forskningsråd å kartlegge og beskrive kunnskapsstatus og forskningsbehov knyttet til bioenergi og klimagasser fra landbruket (jord, skog og utmark). Utredningen beskriver i korte trekk dagens status og hovedutfordringer når det gjelder produksjon av bioenergi og utslipp/binding av klimagasser i landbruket, og peker på sentrale forskningsbehov og forskningsoppgaver som kan bidra til å møte disse utfordringene. Rapporten er basert på bidrag fra forskningsmiljøene på Campus Ås.

STATUS OG UTFORDRINGER KNYTTET TIL KLIMAGASSER FRA LANDBRUKET OG BIOENERGI

Utslipp og binding av klimagasser i landbruket

Klimagassutslippene i Norge er økende. Vi må på linje med de øvrige industrilandene ta et ansvar for å snu denne utviklingen dersom klimaendringene skal kunne begrenses. Mange peker på at Norge med sine betydelige inntekter fra olje- og gassvirksomhet, har et særlig ansvar for å gå foran med et godt eksempel. Landbrukets samlede utslipp av klimagasser utgjør ca. 8 % av Norges totale utslipp. Enkelte landbruksaktiviteter er kilde til store direkte utslipp av klimagassene metan (CH_4) og lystgass (N_2O), idet henholdsvis 48 % og 46 % av Norges totale utslipp av disse gassene kommer fra landbruket. Klimagassutslippene fra landbruket har i perioden 1990–2005 ligget relativt stabilt på rundt 4,3 millioner tonn CO_2 -ekvivalenter. Det er stor usikkerhet knyttet til disse tallene som derfor må benyttes med forsiktighet. Det er derfor et stort behov for å forbedre beregningsmetodikken for klimagassutslipp fra landbruket. Spesielt gjelder dette lystgass (N_2O), hvor Statistisk sentralbyrå opererer med en usikkerhet på pluss/minus 59 %.

Skogbruk, sammen med endret arealbruk, bidrar i dag positivt i klimasammenheng. Økningen i skogens biomasse i 2005 gav en netto binding av karbon som tilsvarer ca. 27 millioner tonn CO_2 – dvs. mer enn 50 prosent av de totale menneskeskapte klimagassutslippene i Norge. I tillegg var det en økt netto binding av karbon i skogsjord på ca 2,0 millioner tonn CO_2 og i dødt skogsvirke på ca 3,9 millioner tonn CO_2 . Dette betyr at landbruket samlet sett har et stort positivt bidrag i klimasammenheng. Både innen jordbruket og skogbruket er det betydelig potensial til ytterligere å øke opptaket av CO_2 og å redusere utslippene av klimagasser.

Produksjon av mat krever innsats av energi. Produkter som må dyrkes i drivhus i Norge, vil på grunn av vårt klima kreve mer energi enn produkter som er dyrket lenger sør. Et aktuelt forskningsområde kan være å optimalisere energiinnsatsen, samt å erstatte fossil energi med fornybar. Også kraftfôr intensive animalske varer kan være mer hensiktsmessig å importere på grunn av at energiforbruket til transport av kraftfôret ofte vil være større enn transport av ferdige varer. Et godt tiltak vil være å redusere importen av kraftfôr.

Felles for en rekke tiltak er behovet for dokumentasjon av virkningen på utslippet. Her er det et stort behov for å styrke forskningsinnsatsen. Det gjelder tap av nitrogen til luft (ammoniakk) og vann (nitrat), utslipp av metan fra husdyrhold, og utslipp av lystgass fra jord.

Problemstillingene som berøres i rapporten er ofte av en holistisk karakter. For at gode løsninger skal finnes, foreslås det derfor at det etableres et produktbasert kvalitetsvurderingssystem basert

på produkters livsløp fra vugge til grav. Et slikt system må være basert på livsløpsvurderinger (jfr ISO 14040-serien).

Bioenergi

Norge står overfor flere store utfordringer knyttet til energiproduksjon og energibruk. Den sterke avhengigheten av vannkraft, stor årlig variasjon i produksjonen og begrenset overføringskapasitet mot utlandet og mellom regioner i Norge skaper en usikker kraftforsyning når forbruket er økende. Norge har store biomasseressurser som kan utnyttes på en bærekraftig måte. Bruken av bioenergi kan økes fra dagens nivå på 16 TWh til om lag 40 TWh. Det er god tilgang på biomasseressurser biologisk sett, spesielt av skogråstoff. Bioenergi representerer et viktig bidrag til økt verdiskaping, ikke minst i distriktene, bedret klimagassregnskap og økt forsyningsikkerhet for energi i Norge. Utvikling av mer effektive verdikjeder fra råstoffkilde til levert energi, mer kunnskap om miljøpåvirkningen av økt råstoffuttak, effekter i markedene for skogråstoff og optimal skogbehandling ved økt uttak til energiformål er hovedutfordringer på råstoffsidens dersom produksjonen av bioenergi skal økes vesentlig.

Det norske varmemarkedet karakteriseres ved høyt forbruk av elektrisk kraft, liten tilgang på vannbåren varme og relativt spredt bosetting. Utvikling av mer effektiv teknologi for varme- og el-produksjon, særlig tilpasset spredt bosetting og liten tilgang på vannbåren varme, er en viktig forskningsutfordring for å kunne ta i bruk mulighetene som ligger i bioenergi under norske forhold.

Produksjon av biogass fra uspiselige restprodukter fra landbruk og samfunn for øvrig synes være interessant fordi et slikt tiltak vil kunne redusere utslippet av drivhusgassene metan og lystgass, og samtidig vil tiltaket føre til økt produksjon av bioenergi. Biogass er en høyverdig energiform, fordi den kan brukes både til produksjon av strøm og til drivstoff for kjøretøy. I tillegg til økonomiske rammevilkår, er kompetanse og pilotanlegg for biogass tilpasset norske forhold viktig for å utvikle biogassområdet i Norge.

Transportsektoren står for om lag 24 % av klimagassutslippene i Norge og utslippene er økende. Biodrivstoff blir sett på som et viktig tiltak for å redusere utslippene fra transportsektoren. Såkalt førstegenerasjons biodiesel er i første rekke biodiesel basert på fettholdige råstoff, mens førstegenerasjons bioetanol er basert på sukkerholdige vekster. I tillegg kan biogass produseres fra energirik biomasse, men krever en ny infrastruktur for drivstoff. En vesentlig bruk av førstegenerasjons biodrivstoff i Norge må derfor baseres på import, noe som krever en vurdering av de lokale produksjonsbetingelser både med hensyn til miljø, langsiktige klimaeffekter og etiske forhold i produsentlandet. Det er reist berettiget tvil om netto effekten av førstegenerasjons biodrivstoff på global oppvarming på grunn av energiinnsatsen i produksjonen og utslippet av lystgass som følge av nødvendig nitrogen gjødsling. Andregenerasjons biodrivstoff er basert på lignocellulose, og man kan dermed bruke biomasse som avfall og skogråstoff. Andregenerasjons biodrivstoff vil dermed redusere konkurransen om arealer og mat og dermed mulig kunne redusere kostnadene for reduserte CO₂-utslipp. Et kommersielt gjennombrudd for andregenerasjons biodrivstoff kan få stor innvirkning på bruken av norsk biomasse.

Økt etterspørsel etter bioenergi vil øke konkurransen om biomasse, både i forhold til matvareproduksjon og skogindustriprodukter, men også mellom ulike produkter og teknologier av bioenergi. Større kunnskap om energiregnskapene og klimagassutslippene fra ulike biomassetypene og produksjonssystemer for bioenergi er viktig for effektiv bruk av arealer og biomasseressurser. Dette krever et mer forskningsbasert faktagrunnlag enn det som er tilgjengelig i dag.

Bedre rammevilkår og økt kompetanse er sentrale utfordringer for å få til en vesentlig økning i produksjonen av bioenergi i Norge. Økt forskningsinnsats er viktig for å møte nye utfordringer og kunne bli en aktiv samarbeidspart i internasjonale forskningsprosjekter og nettverk.

FOU BEHOV

FOU behov knyttet til utslipp og binding av klimagasser fra landbruket

Jordbruket har marginale muligheter for å absorbere karbon i form av biomasse og humus. Matproduksjon innebærer uunngåelige utslipp av metan fra husdyrbruket og lystgass som følge av nitrogenomsetning i jorden. Kraftfulle og gjennomførbare tiltak uten omfattende FoU innsats er:

- Redusert gjødslingsintensitet vil ha en direkte virkning på faktisk utslipp av N₂O.
- Alle tiltak som reduserer nitrogentap til luft (ammoniakk) og vann (nitrat) vil redusere utslippet av N₂O.
- Planmessig nedlegging av produksjoner og driftsformer med store utslipp (dyrking av myrjord) og stort energiforbruk (deler av veksthusnæringen).
- Redusert husdyrhold og resirkulering på høyt trofisk nivå (forutsetter endring i kostholdet).

Andre tiltak krever FoU-innsats:

- Presisjonslandbruk vil generelt åpne for betydelige reduksjoner både av nitrogenintensitet og N₂O utslipp.
- Redusert utslipp av metan fra drøvtyggere er mulig med forbedret fôringsregime.
- Utnytting av ikke spiselige biprodukter til energiformål
- Innarbeide produksjon og bruk av biogass i landbruket
- Kortreist kontra langtransportert mat (betinget virkning)

Følgende områder for forskning innen klimagassutslipp/binding fra landbruket bør være et utgangspunkt for videre prioriteringer:

- Reduksjon av lystgass-utslippet fra jord
- Presisjonslandbruk for reduksjon av nitrogentap og utslipp av lystgass
- Restaurering av dyrket myr
- Videreutvikle verdikjedemodeller og måleteknikker for bedre kvantifisering av metanproduksjon og omsetningen og utskillelsen av nitrogen (N) hos husdyr
- Gjennomføre stoffskifteforsøk med målinger av metanproduksjon og N-balanse hos drøvtyggere for å undersøke effektene av fôrnivå, rasjonssammensetning, fôrtilskudd og fôrprosessering
- Tilpasse eksisterende internasjonale klimagassmodeller på gårdsnivå og for hele verdikjeden til norske driftsforhold. Gjennomføre sensitivitetsanalyser for å kartlegge gevinstene av ulike tiltak i modellene.
- Dokumentere virkning av tiltak mot metan- og lystgassutslipp med omfattende målinger i relevante system
- Innhente data og utføre beregninger skreddersydd for norske forhold, med utgangspunkt i kunnskap fra andre land

- Ressurstilgang, økonomi og miljøkonsekvenser i skogbruket – spesielt mht. effekter av økt volumtetthet og lengre omløp
- Optimal bruk av skog og skogprodukter mht klimagasser; opptak i skog versus bruk av skogprodukter til å erstatte andre produkter som slipper ut CO₂ direkte eller indirekte.
- Driftsteknikk og energiteknologi knyttet til utnyttelse av skogressursene
- Kostnadseffektivitet av ulike klimagassiltak i landbruket - herunder livsløpsvurderinger og klimagassregnskap
- Optimal biomasseforvaltning og virkemiddelbruk under ulike priser på energi og CO₂

FOU behov innen bioenergi

Følgende området for forskning innen bioenergi bør være et utgangspunkt for videre prioriteringer:

- Utvikling av verdikjeder fra skog til brensel
- Internasjonal handel med biobrensler, trender, effekter og aktører
- Optimal skogbehandling ved økt bruk av trevirke til energiformål
- Effekter av økt biomasseuttak fra skog på karbonbinding, næringsstoffesykluser, erosjon og biologisk mangfold i skogøkosystemet
- Utvikling av teknologier for kraft- og kraft/varmeproduksjon fra biomasse og avfall og småskala varmeproduksjon – distribuerte løsninger
- Livsløpsvurderinger og energiregnskap
- Politikk og virkemidler for utvikling av verdikjedene i varmemarkedet
- Etablering av pilotanlegg og nasjonalt kompetansesenter for biogassproduksjon
- Utvikling av teknologier for andregenerasjons biodrivstoff, inkludert utvikling av bioraffinerier

KONKLUSJON

Landbruket har som andre sektorer i Norge utfordringer når det gjelder å finne fram til en mer klimavennlig produksjon langs hele verdikjeden. Til tross for store biomasseressurser i Norge, er produksjonen av bioenergi fortsatt begrenset. For å møte disse utfordringene innen bioenergi og klimagassutslipp i landbruket, trengs ny kunnskap og økt kompetanse. Økt forskningsinnsats kan bidra her. Samarbeid mellom aktørene er nødvendig for å få til et slikt løft i en konkurranse mellom mange viktige områder og sektorer. Økt samarbeid er en forutsetning for å få nødvendig finansiering og å utnytte ressursene optimalt. Mange prosjekter vil dra nytte av et samarbeid mellom brukere og forskningsmiljøer. Samtidig er det også av avgjørende betydning at det stilles mer frie forskningsmidler til disposisjon enn det som er tilfellet i dag. Økt forskningsinnsats vil gjøre oss bedre rustet til å møte de store utfordringene vi står overfor i en verden som stadig trenger mer mat og energi samtidig som det er avgjørende at klimagassutslippene begrenses.

INNHOLDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	4
1. INNLEDNING	10
1.1 MANDAT	10
1.2 DE TERRESTRISKE ØKOSYSTEMENES ROLLE I KLIMASYSTEMET	11
1.3 UTVIKLINGEN INNEN FORNYBAR ENERGI OG KLIMAGASSUTSLIPP I NORGE	14
1.3.1 BIOENERGI I DET NORSKE ENERGIMARKEDET	14
1.3.2. KLIMAGASSER I LANDBRUKET	15
1.4 FORSKNINGSAKTIVITET	18
1.4.1. PROGRAMMER I NORGE	18
1.4.2 INTERNASJONAL FORSKNINGSAKTIVITET	19
1.4.3 KOMPETANSEMILJØER I NORGE.....	19
1.5 LITTERATUR.....	21
2. BIOENERGI	22
2.1 RÅSTOFFTILGANG.....	22
2.1.1 DAGENS SITUASJON.....	22
2.1.2 UTFORDRINGER	25
2.1.3 FoU BEHOV	28
2.1.4 Litteratur.....	29
2.2 VARME- OG EL-PRODUKSJON BASERT PÅ BIOMASSE	30
2.2.1 DAGENS SITUASJON.....	30
2.2.2 UTFORDRINGER	33
2.2.3 FoU-BEHOV	34
2.2.4 LITTERATUR	35
2.3 ENERGIPRODUKSJON BASERT PÅ BIOGASS.....	35
2.3.1 DAGENS SITUASJON.....	35
2.3.2 Utfordringer.....	38
2.3.3 FoU-behov	41
2.3.3 LITTERATUR	42
2.4 BIODRIVSTOFF.....	42
2.4.1 DAGENS SITUASJON.....	42
2.4.2 UTFORDRINGER	45
2.4.3 FoU-BEHOV	46
2.4.3 LITTERATUR	48
3. KLIMAGASSER I LANDBRUKET.....	49
3.1 PLANTEPRODUKSJON.....	49
3.1.1 DAGENS SITUASJON.....	49
3.1.2 POTENSIAL FOR UTSLIPPSREDUKSJONER OG ØKT BINDING.....	51
3.1.3 FoU-BEHOV	51
3.1.4 LITTERATUR	54
3.2 HUSDYRPRODUKSJON	54
3.2.1 DAGENS SITUASJON.....	55
3.2.2 POTENSIAL FOR UTSLIPPSREDUKSJONER I HUSDYRPRODUKSJONENE	58

3.2.3 FoU-BEHOV	62
3.2.4 LITTERATUR	64
3.3 SKOGBRUKET	65
3.3.1 DAGENS SITUASJON.....	65
3.3.2 POTENSIAL FOR UTSLIPPSREDUKSJONER OG ØKT BINDING.....	67
3.3.3 FoU-BEHOV	68
3.3.4 LITTERATUR	69
3.4 AVFALL	71
3.4.1 DAGENS SITUASJON.....	71
3.4.2 POTENSIAL FOR UTSLIPPSREDUKSJONER OG ØKT BINDING.....	72
3.4.3 FoU-BEHOV	74
3.4.4 LITTERATUR	75
3.5 IMPORT KONTRA LOKAL PRODUKSJON	76
3.5.1 LIVSLØPSVURDERINGER OG UTSLIPP GJENNOM HELE VERDIKJEDEN	76
3.5.2 LITTERATUR	77
3.6 KLIMAGASSER FRA DISTRIBUTJON OG FOREDLING AV MATVARER.....	78
3.6.1 EKSEMPLER FRA NORSKE MATVARER.....	78
3.6.2 LITTERATUR	79
Vedlegg: Mandat.....	81

1. INNLEDNING

1.1 MANDAT

Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) fikk i mai 2007 i oppdrag fra Norges Forskningsråd å kartlegge og beskrive kunnskapsstatus og forskningsbehov knyttet til bioenergi og klimagasser fra landbruket. Målsettingen med utredningen er å øke kunnskapsnivået og presentere forskningsbehov som grunnlag for forskningsrådets og Fonds- og Avtalestyrets (Fondet for forskningsavgift på landbruksprodukter og Forskningsmidler over Jordbruksavtalen) prioriteringer i det videre arbeid med energi- og klimaspørsmål knyttet til landbruk (jord, skog og utmark) og landbruksbasert foredlingsindustri. Mandatet for utredningen er presentert i Vedlegg 1.

I mandatet ble bioenergi definert til å omfatte biodrivstoff, biobrensel og biogass brukt til oppvarming, drivstoff eller elektrisitetsproduksjon, med spesiell vekt på å vurdere biomasse fra jord, skog og utmark, biprodukter og biologisk avfall fra primærproduksjon og foredling i landbruket og avfall fra husholdninger og industri generelt.

Mandatet presiserer at muligheter, potensial og begrensninger for bruk og produksjon må vurderes, herunder energiregnskap og teknologi. Flaskehalser, teknologiske utfordringer og miljøkonsekvenser knyttet til økt produksjon av bioenergi skal beskrives. Det framheves videre i mandatet at kunnskapsstatusen skal ta utgangspunkt i dagens norske produksjon og ulike alternativer til denne, og gi en vurdering av:

- netto klimagassutslipp fra primærproduksjonen i jord, skog og utmark, landbruksbasert foredlingsindustri og transport fram til varene er på lager hos grossist
- hvordan klimagassutslippene kan begrenses, herunder en vurdering av landbrukets muligheter og utfordringer som mottaker av organisk avfall fra industri og husholdninger i et klimaperspektiv
- forskjeller i energibruk og klimagassutslipp mellom nasjonal produksjon og import

Utredningen beskriver i korte trekk dagens status når det gjelder bruk av bioenergi og utslipp eller binding av klimagasser i landbruket (jord-, husdyr- og skogbruk). Det er lagt vekt på å beskrive aktuelle forskningsoppgaver og hovedutfordringer. Til dette arbeidet har forfatterne innhentet konkrete bidrag fra ulike forskningsmiljøer på Campus Ås. I tillegg ble et bredt utvalg av aktører innen bioenergi og klimaspørsmål kontaktet og orientert om oppdraget og oppfordret til å komme med synspunkter og innspill. I forbindelse med utredningsarbeidet ble det holdt ett seminar hvor oppdragsgiverne, forskere i Campus Ås miljøet, departementer og næringslivet møttes for å presentere og diskutere kunnskapsstatus, hovedutfordringer og konkrete forskningsbehov.

Utredningen favner bredt, og er skrevet av mange forskere med ulik faglig bakgrunn og fokus. De ulike delkapitlene vil derfor fremstå noe ulike i sin oppbygging og skrivemåte. Referert litteratur er, av samme grunn, listet etter hvert delkapittel.

1.2 DE TERRESTRISKE ØKOSYSTEMENES ROLLE I KLIMASYSTEMET

Landbruk har gjennom historien representert det mest omfattende menneskelige inngrep i terrestriske økosystemer. Inngrepene har hatt og vil ha store konsekvenser for økosystemenes rolle i klimasystemet. Meningsfulle tiltak mot klimagassutslipp fra landbruket forutsetter innsikt i hvordan ting henger sammen. Uten en slik helhetsforståelse er faren stor for at man lanserer tilforlatelige enkelttiltak som ved en mer omfattende beregning viser seg å ha negativ snarere enn positiv effekt på det totale utslippet av klimagasser. Dette kapitlet gir en kort oversikt over de viktigste elementer og prosesser som bestemmer klimaeffekter av matproduksjon og biomasseproduksjon for biodrivstoff fra skogbruk.

Albedo-effekter

Jordoverflaten absorberer en varierende andel kortbølget stråling avhengig av ”albedo”, overflatens ”lyshet”. En snødekket flate reflekterer store deler av kortbølget stråling, Skog vil øke absorpsjonen av kortbølget stråling (Betts *et al.* 1997). Dette resulterer isolert sett i en oppvarmingseffekt av skogreisning, som hevdes å tilsvare skogens effekt som CO₂-sluk i boreale områder (Betts *et al.* 2000). Albedo viser stor romlig variasjon i et jordbrukslandskap, og kan påvirkes sterkt av jordarbeiding (Kunkel *et al.* 1999).

Karbon i biomasse

Drivkraften i økosystemenes binding av atmosfærisk CO₂ er binding av CO₂ gjennom plantenes fotosynte. Kilder til CO₂ utslipp (emisjon) er plantenes egen respirasjon og mikrobiell nedbrytning (mineralisering) av dødt organisk materiale i jord. Netto primærproduksjon (net primary production, NPP) i vegetasjonen defineres som forskjellen mellom brutto fotosyntese (GPP) og planterespirasjon. Netto økosystem-utveksling (net ecosystem exchange, NEE) defineres som differensen mellom NPP og mikrobiell mineralisering (jordrespirasjon). NPP varierer fra 20-1000 g C m⁻² år⁻¹, avhengig av næringstilgang, temperatur, innstråling og tilgjengelig vann. Alexandrov *et al.* (2002) har vist hvordan variasjonen i NPP avhenger av vegetasjonstype, som igjen er bestemt av temperatur, nedbør/vannretensjon, næringstilgang og innstråling. Under de rådende klimaforhold i Norge vil NPP knapt overstige 500 g C m⁻² år i lavereliggende strøk.

Karbon i jord

NPP representerer et potensial for innlagring av C i det terrestriske økosystem, i form av økt biomasse-C og økt organisk C i jord. Organisk materiale i jord er et stort og tregt lager i systemet i forhold til biomassen i vegetasjonen. Skoglig biomasse når tilnærmet likevekt i løpet av 80-100 år, mens organisk karbon i jord er langt tregere og kan være i endring over århundrer. Sammenhengen mellom primærproduksjon og innlagring av organisk karbon i jorden over tid er relativt enkel. Grace *et al.* (2006) benyttet Leith's (1975) NPP-kalkulator (funksjon av temperatur og nedbør) og en enkel nedbrytnings- og humufiseringsmodell, og fant svært gode prediksjoner av organisk C i jord. Nedbryting og stabilisering i jord innebærer at 90 % av assimilert karbon (NPP) slippes ut som CO₂, 10 % blir tilbake som stabilt organisk materiale.

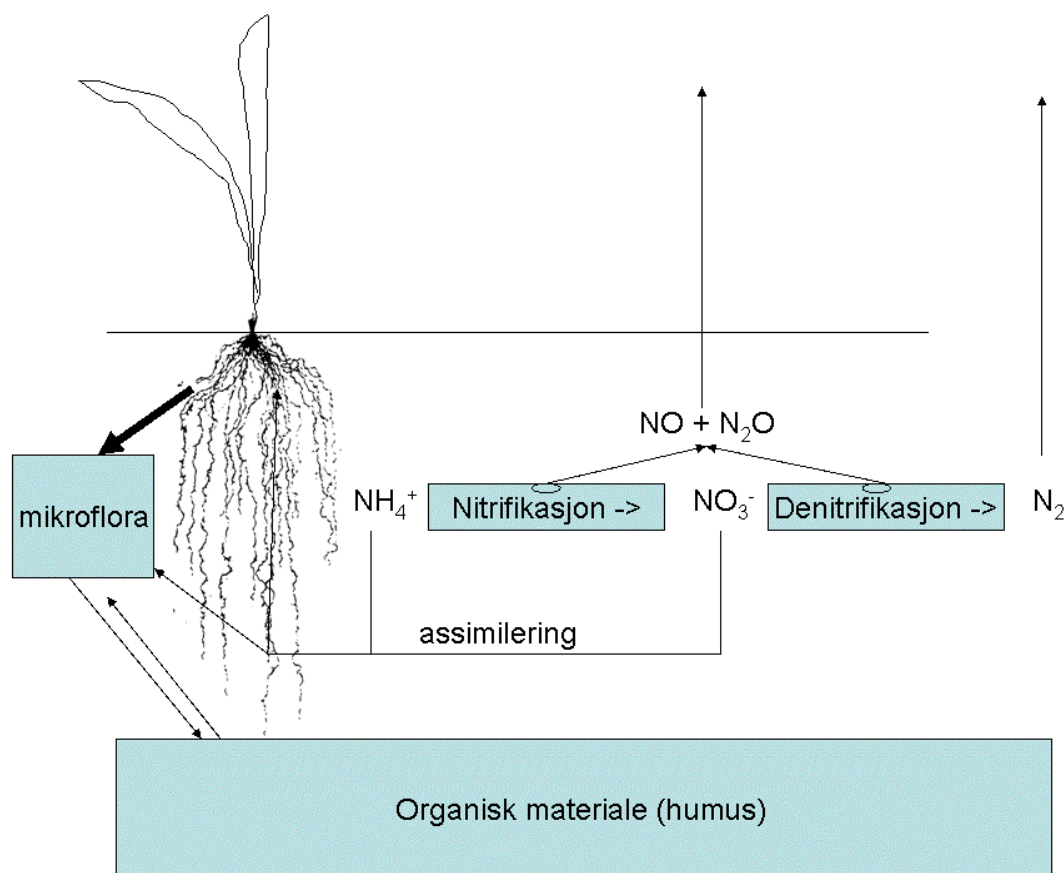
Dette har konsekvenser for mulighetene for CO₂-fangst i terrestriske økosystem:

- Økt NPP vil resultere i økt innhold av organisk karbon i jord under ellers like forhold (klima)
- Av det karbonet som fanges inn ved økt NPP, blir ca 10 % tilbake som stabilt organisk C i jord
- Akkumulasjon av ekstra organisk karbon i jord kan foregå over svært lang tid pga langsom omsetning

- Mineralisering av organisk karbon i jord styres av klima, og representerer en positiv feedback mekanisme i global oppvarming. NPP kan representere en negativ feedback, og modellberegninger av hele terrestriske økosystemer viser at deres netto-respons på klimaendring kan være negativ (nedkjølende) ved moderate klimaendringer, og positiv (oppvarmende) ved kraftigere klimaendringer (Grace 2006b).

Nitrogen – interaksjoner med karbon

Nitrogentransformasjoner og interaksjon med karbon i terrestriske økosystem er vist skjematisk i Figur 1.



Figur 1: Forenklet fremstilling av nitrogentransformasjoner og kobling til C-syklus i jord. Lekkasje av NO og N_2O styres av mengden N som oksideres/reguleres, men også av mikrofloraens sammensetning og vekstbetingelser i jord (Bakken & Dörsch 2007).

Nitrogen er den viktigste begrensende faktor for NPP (netto primærproduksjon) i terrestriske systemer, og er en viktig innsatsfaktor for å opprettholde høy NPP i jordbruket så vel som skogbruk, spesielt i høyproduktiv energiskog. Antropogen N-tilførsel via kunstgjødselproduksjon, NO_x fra forbrenning og biologisk nitrogenfiksering har doblett den totale N-tilførsel til biosfæren ifht prehistorisk nivå, og er den viktigste bidragsyter til økende N_2O i atmosfæren. Årsaken er lekkasje av N_2O fra nitrogen red/ox-prosesser (se Figur 1), som erfaringsmessig er proporsjonal med nitrogentilførsel til et system (Bowman *et al.* 2002).

Koblingen mellom C- og N-strømmene og lagrene i systemet gjør at biosfærens potensielle CO_2 -fangst i biomasse og organisk materiale i jord øker med økende tilførsel av nitrogen. Men det gjør også N_2O -utslippet. Derfor kan intensiv bioenergiproduksjon vise seg å ha en netto global

oppvarmende effekt, effekten av økt N₂O-utslipp er sterkere enn virkningen av substitusjonen av fossilt brensel (Crutzen *et al.* 2007). Totaleffekten avhenger imidlertid C/N -forholdet i biomassen. Terrestriske systemer kjennetegnes av langt høyere C/N-forhold enn marine systemer, og har dermed en mer gunstig respons på N-anrikning.

Jordbruk

Jordbruk (planteproduksjon) innebærer inngrep i den naturlige C og N syklus med uunngåelige implikasjoner for klimagass-regnskapet for økosystemet:

- Et areal som allerede er tatt i bruk vil f.eks være en sterk kilde til N₂O, uansett driftsform, fordi en stor andel av mineralisert nitrogen oksideres før det tas opp av planter (se Figur 1). I motsetning til et uberørt system hvor en stor andel av nitrogenet sirkulerer i redusert form (organisk N → NH₄⁺ → organisk N).
- Når et arealet tas i bruk til jordbruk skjer en netto utslipp av CO₂ fordi stående biomasse mineraliseres (eventuelt brennes), og humuslaget i jorden minker ned mot et nytt likevektsnivå (over noen tiår).
- Organisk karbonlager i jord er etter dette avhengig av driftsform, fordi den bestemmer årlig tilførsel av organisk materiale. En ekstrem variant er ensidig korndyrking med fjerning av halm (for bruk som biodrivstoff f.eks). Dette kan gi en gradvis nedgang i jordens C-lager over mange dekadere, og dermed gi netto utslipp av CO₂ til atmosfæren. Størrelsesorden for denne nedgangen for mineraljord er 10-50 g C m⁻² år⁻¹ = 36-180 g CO₂ m⁻² år⁻¹.
- Oppdyrking av myr og sumpjord står i en særstilling. Drenering fører til en langvarig netto mineralisering av et stort karbonlager som før drenering var stabilisert pga manglende tilgang på oksygen. Uansett driftsform vil en her ha en netto mineralisering av organisk materiale i størrelsesorden 2-3 kg CO₂ m⁻² år⁻¹ og kraftig N₂O utslipp.

IPCC's beregning av N₂O-utslipp er svært enkel og knyttet til et utvalg jordbruksaktiviteter som gjødsling, inkorporering av planterester, husdyrgjødsel osv. Beregningene er basert på regresjonsanalyser av et stort antall forsøk på direkte måling av utslipp. Mulighetene for utslippsreduksjoner ved tiltak har hittil vært oversett, eller ansett for å være svært usikre, bortsett fra redusert nitrogengjødsling.

Husdyrhold

Jordbruk med drøvtyggende husdyr (geit, sau, storfe) innebærer en betydelig økning av metanutslippene i forhold til naturlige økosystem. Årsaken til utslippene er anaerob gjæring (fermentering) som resulterer i at ca 10 % av C i fordøyelig for slipper ut som CH₄. En tilsvarende mengde metan kan dannes ved anaerob gjæring av gjødsel. Under dagens lagringsforhold realiseres bare en brøkdel av dette potensialet i gjødselen, men det som dannes slipper ut i atmosfæren. Husdyrbruk kan tenkes å være et system med tilnærmet C-balanse, på linje med et naturlig økosystem med ville drøvtyggere (elg, rådyr, hjort). Det to nystemene er likevel svært forskjellige:

- I det naturlige systemet konsumerer drøvtyggere en marginal andel av primærproduksjonen, NPP. Andelen varierer mye, men det er rimelig å anta at den i gjennomsnitt ikke overstiger 1% av NPP (Olav Hjeljord, UMB). Dette innebærer at drøvtyggenes metanutslipp i et naturlig økosystem ikke oversiger 0.1 % av NPP.
- I et agroøkosystem som produserer kjøtt og melk kanaliseres ca 50% av NPP gjennom drøvtyggere, og dermed slippes omlag 5% av C i NPP som CH₄

Et agroøkosystem som primært produserer husdyrprodukter fra drøvtyggere slipper altså ut ca 50 ganger mer CH₄ pr arealenhet enn det opprinnelige økosystemet, om vi forutsetter at de to systemene har like stor NPP..

Syklus og livsløp – kompliserende sammenhenger og store muligheter

Primærproduksjon i jord- og skogbruk er en del av det terrestriske økosystemet, og griper inn i de biogeokjemiske kretsløp. Systemtenkning er nødvendig for å kjenne konsekvensen av tiltak. Enkelttiltak som virker tilforlatelige kan vise seg å ha svært negative konsekvenser. Tilsynelatende irrelevante tiltak kan ha stor positiv effekt. Noen eksempler på dette er:

- Utslipet av N₂O er uforutsigelig knyttet til hvor mye ”antropogent” nitrogen som pumpes inn i biosfæren (uansett om nitrogenet fikseres i belgvekst-symbioser eller ved industriell gjødselproduksjon). Forbruket av nitrogen til produksjon av mat kan variere med driftsform (intensitet), men er i hovedsak knyttet til hvilket trofisk nivå vi velger å leve på. Bleken og Bakken (1997) viste i en studie av nitrogenkretsløpet for Norge at det totale N-forbruket uforutsigelig er knyttet til produksjon av mat, og først og fremst kjøtt. Et mindre kjøtttrikt kosthold vil redusere Norges utslipp av N₂O.
- Av samme grunn er ”resirkulering på høyest mulig trofisk nivå” et meget sterkt virkemiddel. Å kaste mindre mat enn vi gjør i dag har en formidabel effekt på N₂O utslippet. Å bruke vraket mat til fôr er langt mindre effektivt. Resirkulering som kompost har marginal effekt!
- Et endret fôringsregime for husdyr, som reduserer mengden ammoniakk i husdyrgjødselen vil være et positivt tiltak for N₂O emisjonen. Ikke fordi det påvirker N₂O- utslippet fra husdyrbruket (manglende N i husdyrgjødsel vil erstattes med mineralgjødsel), men fordi det reduserer behovet for kraftfôr.
- Produksjon av førstegenerasjons biodiesel basert på planteoljer er i løpet av kort tid blitt diskreditert, ikke bare fordi den positive C-balansen er begrenset (stort forbruk av fossilt brensel til produksjonen), men fordi utslippet av N₂O pga gjødselbruken hevdes å resultere i netto global oppvarming av tiltaket. (Crutzen *et al.* 2007).
- Utnytting av biologiske produkter til energiformål må nødvendigvis veies opp mot alternativ bruk som mat eller dyrefôr. Behovet for mat og dyrefôr er relativt lite elastisk.
- Økt bioproduksjon ved fangstvekster i jordbruket har en marginal effekt som CO₂-fangst, men langt sterkere virkning ved reduksjon av nitratavrenning (=> mindre N₂O).

1.3 UTVIKLINGEN INNEN FORNYBAR ENERGI OG KLIMAGASSUTSLIPP I NORGE

1.3.1 BIOENERGI I DET NORSKE ENERGIMARKEDET

Det norske energiforbruket er høyt i internasjonal målestokk og har økt med nesten 40 % fra 1976 til 2005. Veksten i elektrisitetsforbruket har flatet noe ut og var i gjennomsnitt 1 % årlig i perioden 1990-2004. I europeisk sammenheng er det norske energiforbruket høyt per innbygger og består av en stor andel elektrisk kraft. Elektrisitet utgjorde i 2006 47 % av det innenlandske energiforbruket, fossile brenslar 47 % og bioenergi 6 % (SSB Energiregnskap og energibalanse 2007). Stor tilgang på vannkraft til lave priser er hovedårsaken til at Norges energibruk avviker sterkt fra gjennomsnittet for Europa. Dette har også gitt en begrenset satsing på andre fornybare energikilder og vannbåren varme i Norge.

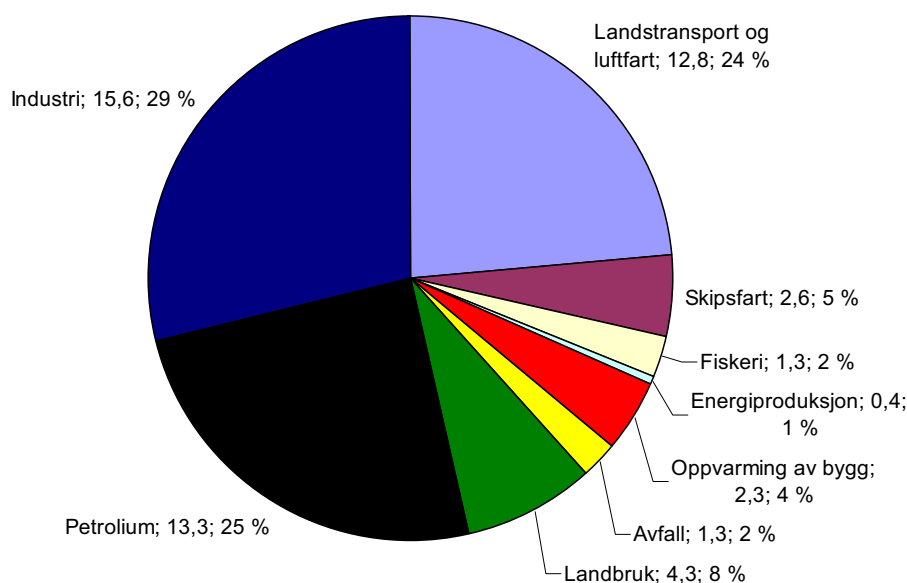
Norge står overfor flere store utfordringer knyttet til energiproduksjon og bruk. Den sterke avhengigheten av vannkraft med stor årlig variasjon i produksjonen og begrenset overføringskapasitet mot utlandet og mellom regioner i Norge, skaper en usikker kraftforsyning når forbruket er økende. Mens midlere produksjon av elektrisitet er 120 TWh per år, varierer kraftproduksjonen i Norge fra 89 TWh til 150 TWh. Netto innenlands sluttforbruk i 2005 var 112 TWh og forventet forbruk i 2015 er 135,5 TWh per år (NOU 1998:11). I tillegg til større overføringskapasitet til utlandet og mellom regioner, er det behov for økt kraftproduksjon og/eller redusert elektrisitetsforbruk for å øke forsynings sikkerheten både på nasjonalt og regionalt nivå i Norge. I denne sammenheng vil økt bruk av bioenergi kunne være en viktig faktor for å øke den generelle tilgangen på energi, motvirke energimangel i år med lav vannkraftproduksjon og redusere behovet for kraftoverføringer over lengre avstander ved at bioenergianleggene plasseres lokalt.

På kort sikt er det bioenergi som i størst grad kan bidra til å realisere regjeringens mål om økt produksjon av fornybar energi. Eksempelvis gir 1 million m³ tømmer om lag 2,3 TWh tilført energi. Økt bruk av trevirke til energiformål vil kunne gi store reduksjoner i klimagassutslippene. Videre, ifølge klimatilaksanalysen til Statens forurensningstilsyn, er bruk av bioenergi ett av de mest lønnsomme tiltakene for å redusere utslippene av CO₂ og beregninger viser at for hver TWh fyringsolje som erstattes med bioenergi, vil utslippene av CO₂ reduseres med 260 000 tonn. Dersom en tar utgangspunkt i at redusert elforbruk i Norge vil redusere produksjon av kullbasert elproduksjon i Europa, gjennom økt eksport av norsk vannkraft eller redusert import, vil hver TWh elektrisk oppvarming i Norge som erstattes med bioenergi redusere CO₂-utslippene med 1 million tonn.

Både hensynet til energileverings sikkerhet, begrenset tilgang på mer vannkraft og nasjonale mål om kraftig reduksjon i utslipp av klimagasser, medfører at forskning på økt bruk av bioenergi i Norge er viktig. Som denne rapporten viser er det mange utfordringer og konkrete forskningsoppgaver vi står overfor både når det gjelder økt bruk av bioenergi og et forbedret klimagassregnskap i norsk landbruk.

1.3.2. KLIMAGASSER I LANDBRUKET

Parallelt med økt fokus på energisikkerhet har Norge gjennom sin ratifikasjon av Kyoto-protokollen forpliktet seg til å sørge for at de årlige klimagassutslippene i perioden 2008-2012 i gjennomsnitt ikke er mer enn 1 % høyere enn utslippene i 1990. På tross av dette var de reelle utslippene for 2005 9 % høyere enn 1990-nivået, og fortsatt økende (St. meld nr 34 Norsk klimapolitikk). CO₂ dominerer både det totale volumet av klimagasser og utslippsveksten siden 1990, men også metan (CH₄) og lystgass (N₂O) er viktige klimagasser, og for disse er utslippene spesielt høye fra landbruket. Landbrukets samlede utslipp av CO₂ utgjør ca 8-9 % av Norges totale utslipp. Enkelte landbruksaktiviteter er imidlertid kilde til store direkte utslipp av klimagassene metan (CH₄) (husdyrproduksjon) og lystgass (N₂O) (jordbruksarealer dvs. planteproduksjon), idet henholdsvis 48 prosent og 46 prosent av Norges totale utslipp av disse gassene kommer fra landbruket (se Figur 2 og Tabell 1).



Figur 2. Utslipp av klimagasser i Norge 2005. Mill tonn CO₂ ekvivalenter og prosentvis andel.
 Kilde: St. meld. Nr 34. Norsk klimapolitikk

Disse gassene er vesentlig mer effektive klimagasser enn CO₂. CH₄ ansees å være 23 ganger så effektiv og N₂O 296 ganger så effektiv (IPCC 2001). Klimagassutslippene fra landbruket har i perioden 1990–2005 ligget relativt stabilt på rundt 4,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Disse tallene må tolkes med forsiktighet, da de er forbundet med stor usikkerhet. Det er derfor et stort behov for å forbedre beregningsmetodikken for klimagassutslipp fra jordbruket. Spesielt gjelder dette lystgass (N₂O), hvor Statistisk sentralbyrå opererer med en usikkerhet på pluss/minus 59 prosent (usikkerhet 2 standard avvik (% av gjennomsnitt)).

Tabell 1: Utslipp av klimagasser til luft fra Norsk landbruk i 2005. Tallene er hentet fra St. meld. Nr. 34 (2006-2007) "Norsk klimapolitikk"

Klimagasser	Landbrukets utslipp mill. tonn CO ₂ -ekv.	Norges klimagass- utslipp mill. tonn CO ₂ -ekv.	Landbrukets andel av Norges klimagassutslipp %
CO ₂	0,5	43,1	1
Lystgass (N ₂ O)	2,2	4,8	46
Metan (CH ₄)	2,2	4,6	48
Totale utslipp	4,9	54,2	9
CO ₂ opptak i skog og endret arealbruk	-27,2	-27,2	

Skogbruk, sammen med endret arealbruk, bidrar i dag positivt i klimasammenheng. Eksempelvis medfører overgang fra en arealbruk med lite lagret karbon til arealer med større lager av karbon, høyere CO₂-opptak fra atmosfæren. Det norske klimagassregnskapet viser at det bindes store mengder karbon i skog i dag, samtidig som det er lagret store mengder karbon i biomasse og jordsmonn. Økningen i skogens biomasse i 2005 gav en netto binding av karbon som tilsvarer 27-28 millioner tonn CO₂ eller om lag 50 prosent av de totale menneskeskapte

klimagassutslippene i Norge. I tillegg var det en økt netto binding av karbon i skogsjord på ca 2,0 millioner tonn CO₂ og i dødt skogsvirke på ca 3,9 millioner tonn CO₂. Dette betyr at landbruket samlet sett har et stort positivt bidrag i klimasammenheng. Både innen jordbruket og skogbruket er det betydelig potensial til ytterligere å øke opptaket av karbon og å redusere utslippene av klimagasser.

Lavutslippsutvalget viser til at det er anslått at det samlede karbonlageret i skogøkosystemet i Norge utgjør i størrelsesorden 1,9 milliarder tonn karbon, hvor hovedmengden er lagret i jordsmonn, men også i trær og myr. Det vil være viktig at skogene forvaltes slik at ikke store karbonmengder frigjøres fra disse store lagrene.

NOU 2006:18 "Et klimavennlig Norge" peker på ulike tiltak som vil kunne redusere klimagassutslippene fra norsk territorium med to tredjedeler fra dagens nivå innen 2050. Av tiltak som er relevante for landbrukssektoren nevnes spesielt:

- Senking av nitrogeninnholdet i fôr og forbedret foring av husdyr
- Redusert nitrogengjødsling av jordbruksareal
- Biogassproduksjon ved anaerob nedbrytning av gjødsel og våtorganisk avfall

Det pekes også på at overgang til CO₂-nøytral oppvarming gjennom økt bruk av biomasse (les bioenergi) vil være viktig for å nå målene som skisseres i Kyoto-protokollen.

I Stortingsmelding nr. 34 (2006-2007) "Norsk klimapolitikk" presiserer regjeringen følgende to langsiktige mål:

- at Norge fram til 2020 påtar seg en forpliktelse om å kutte sitt bidrag til de globale utslippene av klimagasser tilsvarende 30 prosent av Norges utslipp i 1990
- at Norge skal være karbonnøytralt i 2050

I tillegg ønsker regjeringen at Norge overforplikter seg i forhold til Kyoto-protokollens første periode (2008-2012) ved å skjerpe Norges Kyoto-forpliktelse med 10 prosentpoeng til 9 prosent under 1990 nivå, samt sørge for at en betydelig del av reduksjonene skjer gjennom nasjonale tiltak. I Stortingsmeldingen skisseres det sektorvise målsetninger og klimahandlingsplaner hvor det pekes på konkrete tiltak for enten å redusere utslipp av klimagasser eller å øke bindingen av CO₂. I meldingen (side 128) uttrykkes en tydelig politisk vilje til å utnytte mulighetene for økt binding av CO₂ gjennom økt skogproduksjon og målrettet anvendelse av biomasse fra skog og representerer et endret politisk syn på denne muligheten.

Statens forurensningstilsyn har i sin tiltaksanalyse anslått det tekniske potensialet for utslippsreduksjoner i jordbrukssektoren i 2020 til 1,1 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, noe som utgjør ca 25 prosent av dagens utslipp fra denne sektoren (~4,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter). For å oppnå dette foreslår regjeringen derfor å opprette et eget utviklingsprogram for klimatiltak i jordbruket over jordbruksavtalen, herunder tiltak for å redusere lystgassutslipp, og å øke kunnskap om biogass-produksjon.

Regjeringen vurderer å stimulere til økt produksjon av biogass, etablere virkemidler som utløser tiltak for å redusere lystgass- og metanutslipp fra jordbruket, stimulere til vedvarende høy tilvekst og stort netto opptak av CO₂ i skog og øke innsatsen på forskning og kompetanse relatert til skog, skogprodukter, bioenergi og virkninger av klimaendringer på landbrukssektoren, herunder styrke kunnskapsgrunnlaget om bevaring av eksisterende karbonlagre i skog.

Avfallssektoren er både en viktig leverandør av råstoff til produksjon av bioenergi og en produsent av klimagasser, i hovedsak metan som siver ut fra deponier. Avfallssektoren bidrar

med ~1,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter per år, hvorav over 90 % kommer fra deponier. Statens forurensningstilsyn har i sin tiltaksanalyse anslått det tekniske potensialet for utslippsreduksjoner i avfallssektoren i 2020 til 0,4 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, noe som utgjør ca 35 prosent av dagens utslipp fra denne sektoren. Regjeringen foreslår derfor et forbud mot deponering av nedbrytbart avfall fra 2009.

1.4 FORSKNINGSAKTIVITET

1.4.1. PROGRAMMER I NORGE

De mest sentrale satsingene knyttet til fornybar energi og klima i Norge er beskrevet i St. meld. Nr 34 Norsk klimapolitikk, og skjer innen følgende forskningsprogram:

NORKLIMA

Norges forskningsråds hovedprogram for klimaforskning. Programmet skal bidra til ny kunnskap om klimasystemet, klimaendringer, effekter av klimaendringer på natur og samfunn og kunnskap for utvikling av tilpasningsstrategier.

RENERGI

Norges forskningsråds program for framtidens rene energisystem. Programmet er rettet mot forskning knyttet til energiforbruk og -effektivisering, og strukturelle og teknologiske rammebetingelser for dette. RENERGI omfatter også forskning på internasjonale klimaavtaler.

CLIMIT

Den offentlige støtten til utvikling av CO₂-håndteringsteknologier kanaliseres gjennom støtteprogrammet CLIMIT, som administreres av Gassnova og Norges forskningsråd i samarbeid.

Miljø 2015

Bredt miljøforskningsprogram med oppstart i 2007. Den samfunnsvitenskapelige delen av Miljø 2015 omfatter forskning på rammebetingelser og muligheter for en bærekraftig utvikling, inkludert klimaspørsmålet.

Det Internasjonale Polaråret (IPY)

En internasjonal storsatsing i 2007–2009 som skal framskaffe ny kunnskap om grunnleggende prosesser og sentrale naturfenomener i polarområdene.

Arealprogrammet og FoU-programmet TRE

Arealprogrammet er Norges forskningsråds program som skal utvikle kunnskap til støtte for areal- og naturbasert næringsutvikling. FoU-programmet TRE er et annet program under Norges forskningsråd som skal bidra til verdiskaping gjennom forskning og utvikling i norsk skog- og trerelatert næringsvirksomhet. Begge programmene har et betydelig fokus på bioenergi.

Energi21

Olje- og energidepartementet har tatt initiativ til en samlet strategi for forskning og utvikling innen energisektoren, etter modell av tilsvarende strategi på petroleumsområdet (OG21).

OG21

OG21 arbeider med å redusere CO₂-utslippene fra norsk sokkel gjennom blant annet en egen delstrategi for miljøteknologi. OG21 er også aktive innenfor CO₂-fangst og lagring/bruk av CO₂ til økt oljeutvinning. OG21 var blant annet delaktig i initieringen av Halten CO₂-prosjektet, der Statoil og Shell arbeider med å vurdere bruk av CO₂ til økt oljeutvinning på Draugen- og Heidrunfeltet.

Dette er mange program, men få av dem har prosjekter om bioenergi og klimagassutslipp i landbruket. Samlet sett har det vært en svært begrenset tilgang på norsk finansiering til forskning knyttet til bioenergi og klimagassutslipp i landbruket. Eksempelvis har finansiering av forskning på biodrivstoff vært nesten fraværende, på tross av åpenbare muligheter for både norsk land- og skogbruk og norsk klimapolitikk.

Norges forskningsråd laget i samarbeid med Nobio ”Samlet plan for norsk bioenergiforskning” som peker på FoU behov innen dette feltet. I prosjektet ”Foresightrapport 2007- Biodrivstoff og bioenergi” beskriver også en rekke FoU behov.

1.4.2 INTERNASJONAL FORSKNINGSAKTIVITET

Energi er et viktig område i EUs 7. rammeprogram. Satsing på internasjonalt samarbeid, fornybar energi, redusert avhengighet til importert brensel, forsyningsikkerhet og klimaendringer står sentralt i programmet. Forskning om fornybar energi for produksjon av elektrisitet, drivstoff, varme og kjøling, energieffektivitet og kunnskap for utarbeidelse av energipolitikk er områder som støttes under det 7. rammeprogrammet.

Arbeidsprogrammet for energi ”WORK PROGRAMME 2007-2008 COOPERATION THEME 5 ENERGY” beskriver forskningsområdene som omfattes av programmet og hvilke tema som prioriteres ved utlysningen i 2007. Arbeidsprogrammet for 2007-2008 er på 166 mill Euro. International Energy Agency (IEA) har også relevante aktiviteter knyttet til fornybar energi inkludert bioenergi.

Nordisk råd har forskningsprogrammer innen fornybar energi gjennom Nordisk Energiforskning. For årets utlysning er det mottatt 51 søknader (EoI), hvorav 17 innenfor biodrivstoff. Av disse er 12 invitert til å sende inn full søknad, to av disse innen bioenergi. Tildelingen ble gjort i august 07 og ett prosjekt knyttet til biodrivstoff. De øvrige fire prosjektene er knyttet til solenergi og brenselceller.

SamNordisk skogforskning (finansiert av Nordisk Ministerråd) finansiere skogrelatert prosjekter, inkludert bioenergi knyttet til skogråstoff.

I USA er forskningsaktiviteten spesielt stor på biodrivstoff. Tre universitetsmiljøer (Oak Ridge - Tennessee; Madison-Wisconsin; og Lawrence Berkeley National Lab.-California) har f.eks. nylig fått 125 mill US\$ hver over en 5-års periode fra energidepartementet for å forske på biofuels. I tillegg har flere oljeselskaper finansiert i tilsvarende store programmer ved andre universitet som UC-Davis og UC-Berkeley.

1.4.3 KOMPETANSEMILJØER I NORGE

Forskningsmiljøet på Campus Ås huser en rekke forskningsmiljøer med tung kompetanse på bioproduksjon, bioenergi og klimagassutslipp for ulike deler av norsk landbruk.

UMB har kompetanse innen følgende felt:

- biomasseproduksjon fra jordbruk og skogbruk

- husdyrfysiologi og -ernæring, grunnleggende og anvendt,
- plantegenetikk: Utvikling av eksisterende og nye sorter med tanke på energinnhold, stoffkvalitet, dyrking på nye plasser under endrede klimaforhold etc
- teknologi for konvertering av ulike biomasseressurser til biobrensel for produksjon av varme, elektrisitet og drivstoff,
- prosesser og teknologi for omforming av avfallstrømmer eller deler av disse for foredling til råstoff, bioremediering og oppkonsentrasjon av giftstoffer (CCA, maling, tungmetaller),
- biogass fra ren biomasse og basert på avfall fra industri og storsamfunn,
- enzymteknologi for nedbryting av lignocellulose til fermenterbart sukker for fremstilling av etanol,
- økonomiske analyser inkludert verdi- og markedsanalyser,
- skogsektoranalyser,
- virkemidler, samfunnsøkonomiske effekter, verdsetting av miljøgoder,
- ressurskartlegging, arealbruk, arealplanlegging og landskapsplanlegging
- bærekraftig utvikling, biodiversitet og miljøkonsekvenser
- klimagasseffekter, livsløpsvurderinger, CO₂-regnskap,
- energi og avskoging i U-land

Bioforsk har relevant kompetanse for bioenergi lokalisert til Campus Ås og ut over landet forøvrig.

- Produksjon og håndtering av biomasse fra jordbruket, deriblant bruk av oljevekster til biodiesel og energivekster (korn, gras, treaktige planter)
- gjengroing og kulturlandskapsforvaltning
- biogass fra husdyrgjødsel og annen jordbruksproduksjon, samt industriens og samfunnets avfallsstrømmer.
- utnyttelse av aske og andre restprodukter fra bioenergiproduksjon
- klimagasser fra landbruk og terrestriske økosystemer (bl.a. dyrket myr)
- genetikk og bioteknologi (polymerdegradering)
- risikovurdering av uorganiske og organiske miljøgifter
- miljø- og samfunnsmessige implikasjoner av bioenergi (LCA, CO₂-regnskap m.m.).

Norsk institutt for skog og landskap har kompetanse innen logistikk for bioenergi fra skog (høstingsteknikk, tørking, lagring), brenselkvalitet, karbonsyklusen i skog og skogsjord, og miljøkonsekvensene av økt biomasseuttak fra skog. Instituttet har landskogstakseringen og den nasjonale jordmonnskartleggingen, og har også kompetanse innen andre relevante områder, som skogøkonomi, skogproduksjon, skogpatologi, skogentomologi og skogøkologi.

NTNU, SINTEF og Institutt for energiteknikk (IFE) er de sentrale forskningsmiljøene innenfor teknologi knyttet til fornybar energi. De har etablert Senter for fornybar energi. Disse miljøene har relativt stor forskningsaktivitet på hele bredden av fornybare energikilder, med spesiell vekt på utvikling av nye teknologiske løsninger. Viktige prosjekt innen bioenergi ved NTNU og SINTEF er blant annet energiutnyttelse ved gassifisering av avfall, distribusjon av energi fra biologisk brensel og restavfall, utvikling av rentbrennende ildsteder, BIOSOFC (Gassifisering av biomasse kombinert med brenselceller for produksjon av elektrisk kraft med høy virkningsgrad) og miljø og prosesskontroll. Når det gjelder biodrivstoff er aktiviteten nokså teknologisk orientert og dermed komplementære med de mer biologisk orienterte ”oppstrøms” aktivitetene på Campus Ås.

Flere forskningsmiljøer, organisasjoner, industri- og konsultantselskaper er aktive innen FoU knyttet til bioenergi og klimagassutslipp, UiO, UiB, Papirindustriens forskningsinstitutt, Høgskolen i Hedmark, Universitetet i Agder, Cicero, SSB, SFT, Borregaard, Hydro, Elkem og Statkraft, KanEnergi, Energigården og Zero er aktuelle eksempler, selv om aktivitetene i varierende grad gjelder landbruk og bioenergi. Samlet sett er tyngdepunktet for kompetanse innen bioenergi i Norge knyttet til forskningsmiljøet på Ås og i Trondheim.

Internasjonalt finnes mange kompetansemiljøer innen dette feltet. Av spesielt relevante internasjonale nettverk på dette området er:

- Nordic Centre for Studies of Ecosystem Carbon Exchange and its Interactions with the Climate System (NECC)
- FLUXNET
- CARBOEUROPE
- FNs klimapanel (IPCC)
- IEA Bioenergy
- The European Biofuels Technology Platform
- ILEAPS

1.5 LITTERATUR

- Alexandrov, G.A., Oikawa, T., Yamagata, Y. 2002: The scheme for globalization of a process-based modell explaining gradations in terrestrial NPP and its application. *Ecological Modelling* 148:293-306
- Betts, A.K. & Ball, J.H. 1997: Albedo over the boreal forest. *Journal of Geophysical Research*, Volume 102, Issue D24, p. 28901-28910. DOI 10.1029/96JD03876
- Betts, R.A. 2000: Offset of the potential carbon sink from boreal forestation by decreases in surface albedo. *Nature* 408, Issue 6809: 187-190.
- Bakken, L.R. & Dörsch, P., 2007: Nitrous oxide emission and global changes: modelling approaches. In *Biology of the Nitrogen Cycle*, Bothe H, Ferguson SJ, Newton WE (eds). Elsevier (Amsterdam).
- Bleken, M.A. & Bakken, L.R. 1997: Nitrogen cost of food production: Norwegian Society. *AMBIO* 26 (3): 134-142.
- Bouwman, A.F., Boumans, L.J.M., Batjes, N.H. 2006: Emissions of N₂O and NO from fertilized fields: Summary of available measurement data. *Global Biogeochemical Cycles* 14(4):1058.
- Crutzen, P.J., Mosier, A.R., Smith, K.A., Winiwarter, W. 2007: N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 7, 11191–11205, 2007. <http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/7/11191/2007/>
- Esser, G. 1998: NPP Multi-Biome: Global Osnabruck Data, 1937-1981. Data set. Available on-line [<http://www.daac.ornl.gov>] from Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A.
- Grace, P.R., Ladd, J.N., Robertson, G.P., Gage, S.H. 2006: SOCRATES – A simple model for predicting long term changes in soil organic carbon in terrestrial ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry* 38:1172-1176.
- Grace, P.R., Post, W.M., Hennessy, K. 2006: The potential impact of climate change on Australia's soil organic carbon resources. *Carbon Balance and Management* 2006, 1:14 doi:10.1186/1750-0680-1-14.

Kunkel, K.E., Isard, S.A., Hollinger, S.E., Gleason, B., Belding, M. 1999: Spatial heterogeneity of albedo over a snow-covered agricultural landscape. *Journal of Geophysical Research* 104, Issue D16:19551-19558. DOI: 10.1029/1999JD900050

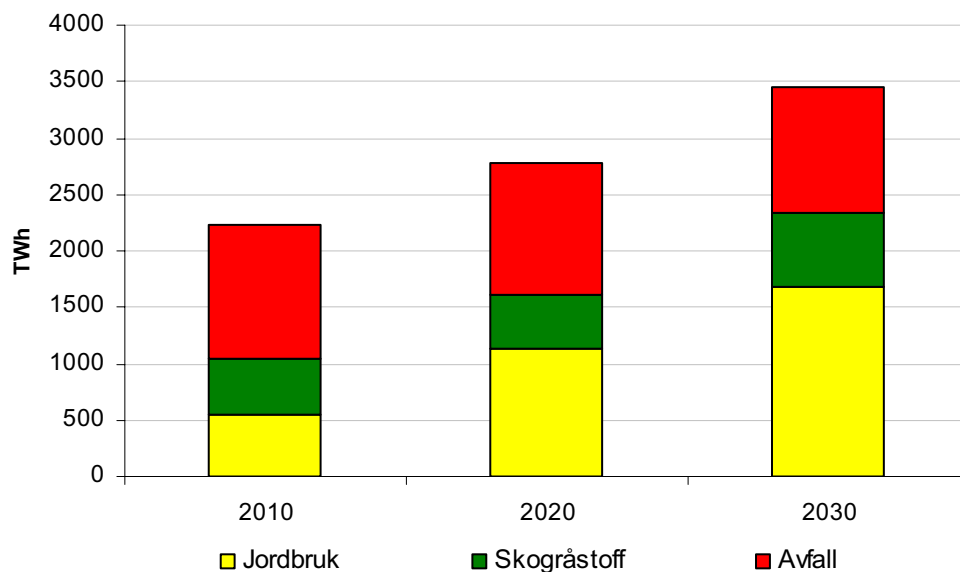
Lieth, H. 1975: Modeling the primary productivity of the world. In: Lieth, H., Whittaker, R.H. (Eds.), *Primary Productivity of the Biosphere*. Springer, Berlin pp237-263.

2. BIOENERGI

2.1 RÅSTOFFTILGANG

2.1.1 DAGENS SITUASJON

Oppmerksomheten rundt utslipp av klimagasser og klimaendringer har skapt stor interesse for å basere fremtidens energisystem på fornybare og CO₂ – effektive energikilder. Bioenergi for varme, el og drivstoffproduksjon kan bidra til reduserte utslipp av klimagasser (Raymer 2006, Ryan *et al.* 2006, Sims 2006, Kirschbaum 2003, Gustavson & Madlener 2003, Adahl *et al.* 2006, Bjørnstad & Skonhoft 2002).



Figur 3. Potensialet for bærekraftig produksjon av biomasse til energiformål i Europa (EU 25). Kilde: EEA 2006.

Energiproduksjonen i Europa var i 2005 på 852 Mtoe, som tilvarer ca 10 000 TWh (EU27). Ca 9 % (907 TWh) av energiproduksjon kom fra biomasse, mens 3 % kom fra vannkraft. Under 5 % av sluttforbruket kommer fra fornybar energi. Av bioenergiproduksjonen i Europa går ca 70 % til varmeproduksjon, 29 % til el- produksjon og 1 % til transport. EU har som mål å doble bruken av bioenergi innen 2010. EEA har analysert potensialet for bærekraftig produksjon av biomasse til energiproduksjon i Europa (Figur 3). Tilgangen på biomasse til energiproduksjon i Europa er avhengige av hvordan rammevilkårene for landbruk, energi og miljø vil utvikle seg. Dersom det settes strenge krav om mer fornybar energi i kombinasjon med restriksjoner på omleggingen av jordbruksarealer til energiproduksjon og på skogavvirkning, vil det bli et

underskudd av biomasse i Europa om lag år 2020. Hvis dagens politikk i EU fortsetter, vil etterspørselen etter biomasse være lavere enn det bærekraftige potensialet i de fleste land. Avfall representerer det største biomassepotensialet i Europa i dag, fulgt av jordbruksprodukter og skogprodukter. Potensialet for jordbruksprodukter er økende, mens potensialet for avfall og skogråstoff er noe avtagende. Bruk av jordbruksarealer til biomasseproduksjon fordrer imidlertid en omlegging av jordbruksproduksjonen og vil i hovedsak bli innrettet mot produksjon av biodrivstoff. Avfallsprodukter fra skogindustrien er et viktig råstoff bioenergiproduksjon i Europa i dag.

Norsk råstofftilgang

Den direkte energiforsyningen fra landbruket i Norge er i dag om lag 7 TWh. Dette er i første rekke ved til oppvarming i husholdningene. I tillegg kommer den indirekte energiforsyningen gjennom biprodukter i skogindustrien som utgjør om lag 7,3 TWh.

Det er usikkerhet knyttet til anslagene for samlet potensial av biomasse til energiproduksjon i Norge. De fleste studier opererer med et samlet potensial på mellom 40 og 50 TWh. Tabell 2 viser bruken av biomasseressurser til energiproduksjon og anslått potensial. Disse potensialene er analysert og presentert i senere studier, som for eksempel i NVE (2006).

Tabell 2: Biomasseressurser til energiformål i Norge og potensial for økt anvendelse. Mulig økt anvendelse uttrykker mengder utover bruk i dag. Alle tall i TWh. Fra NVE (2003).

Opprinnelse	Bruk i dag	Mulig økt anvendelse	SUM
Skogsbrensel (ved)	7,2	12-16	17-23
Papir- og masseindustri	5,3	0,1	5,4
Trelastindustri	0,9	3,7	4,6
Møbel- og trevare	0,7	0,5	1,2
Husholdningsavfall	0,9	1,5	2,4
Bygg- og anlegg	0,3	0,5	0,8
Halm og kornavrens	0,1	4,5	4,6
Deponigass	0,1	1,0	1,1
Annen biogass	0,1	3,0	3,1
SUM	16	27-31	44-48

Ved og biprodukter fra skogindustrien er hovedråstoffet for bioenergi i Norge i dag. Med økt produksjon av bioenergi har rundvirke fra furu og lauv, samt hogstavfall, økende interesse fordi potensialet fra skogindustrien i stor grad allerede er utnyttet. Når det gjelder andre råstoffstrømmer er det primært snakk om de eksisterende, hvor utfordringene primært ligger i utvikling av teknologi for å utnytte disse på en bedre måte.

Av de vekstene som dyrkes i Norge i dag kan man først og fremst tenke seg at oljevekster, korn og halm, gras, og hurtigvoksende energiskog kan nyttes til bioenergi. På kort sikt er halm, oljevekster og korn mest aktuelle. Totalt er det ca. 8,8 mill. dekar jordbruksareal som nyttes til produksjon av mat- og fôrplanter. Halm fra kornproduksjon er den eneste ressursen med et volum av betydning som i nokså liten grad nyttes i dag. Trolig kan man berge 400 000 – 450 000 tonn halm til bioenergi fra norske åkre årlig, med et energiinnhold på ca. 4 kWh per kg. Halm kan brukes i fjernvarmeanlegg eller til 2. generasjon drivstoff. I prinsippet kan hele jordbruksarealet brukes til produksjon av energivekster, men da det i dag er ubetydelig overproduksjon av jordbruksvekster i Norge vil dette føre til at all mat må importeres. Dette er et lite realistisk scenario sett ut fra hensynet til landbrukspolitiske mål som sikker matforsyning og et allsidig landbruk i hele landet, samt etiske forhold rundt bruken av matjord. Produksjon av energivekster på landbruksarealene er mest aktuelt for produksjoner som i minst mulig grad går på bekostning av matproduksjonen. Et eksempel på dette er oljevekster som utenom drivstoff,

også kan brukes til framstilling av matolje, som proteinkilde til kraftfôrindustrien, og halmen kan brukes til andregenerasjons drivstoff eller til biovarme. Oljevekstene er også gode forgrøder for hvete og kan således styrke matkorn dyrkingen. I en fremtidig norsk produksjon av oljevekster til drivstoff bør det satses på høstoljevekster som kan gi dobbel avling i forhold til vårrybs, som blir mest dyrket i dag. Det totale oljevekstarealet som er realistisk i dag ut fra agronomiske og klimatiske hensyn er på ca. 275.000 dekar. Når det gjelder korn, vil en først og fremst kunne bruke partier som av kvalitetsmessige årsaker ikke kan brukes til mat eller fôr, og i gode kornår kan det være aktuelt å bruke kornoverskuddet. Hvis det blir aktuelt med spesialisert etanolproduksjon basert på korn, er det trolig først og fremst hvete og rughvete som kan være aktuelt å dyrke, fordi disse artene gir størst avling. Selv om poteter gir forholdsvis stor etanolproduksjon per dekar, viser beregninger at energieffektiviteten er lav og energiprisen blir svært høy. Potet er derfor lite aktuell for etanolproduksjon til drivstoff i Norge. Gras, energiskog (pil og poppel), halm og kornavrens er aktuelle som råstoff til 2. generasjon drivstoff. Av disse vil halm være den største råstoffkilden fra jordbruket. Energiskog- eller grasproduksjon til energiformål er mest aktuelt som randsoner mot vann og vassdrag, der de kan ha en miljøfremmende effekt.

Økt bruk av bioenergi i land med begrensede biomasseressurser skaper ny internasjonal handel med biobrensler. Forsyningssikkerhet, kostnadseffektiv reduksjon av utslipp av klimagasser, sosioøkonomisk utvikling og bærekraftig forvaltning og rasjonell bruk av naturressurser er drivere i denne utviklingen. Det forventes at økt etterspørsel etter biomasse til energiproduksjon i Europa vil føre til større integrasjon av de nasjonale markedene for brensler med gode logistikkegenskaper, slik som pellets. Lave transportkostnader er sentralt, båttransport vil derfor dominere. Tabell 3 viser import og eksport av skogråstoff til Norge i 2005. Samlet sett går ca 20 % av nettoimporten til bioenergi når bruk av biprodukter i skogindustrien tas i betraktning.

Tabell 3: Import og eksport av skogråstoff 2005 i 1000 fm³. Kilde: SSB.

	Import	Eksport
Ved til brensel	113	2
Flis, treavfall mv.	1501	204
Flis og spon	1101	85
Treavfall og sagflis	383	108
Skurtømmer, bartre	583	251
Massevirke, bartre	1758	259
Sum	5439	909

Pelletsproduksjonen i Norge er økende og var på 51 000 tonn i 2006. Økningen i produksjonen har i det alt vesentligste blitt eksportert, men konsumet innenlands økte vesentlig i 2006 på grunn av økt salg av pelletskamener til private husholdninger. Det finnes 11 pelletsprodusenter i Norge med en samlet kapasitet på 121 000 tonn (Nobio 2007). To større pelletsfabrikker med kapasitet på hhv 60 000 ton og 400 000 ton er under planlegging i Norge. Begge fabrikkene er basert på rundvirke og produksjonen er planlagt å gå til eksport. Fabrikker i denne størrelsen vil få innvirkning på det norske tømmermarkedet. I tillegg til pellets produseres det briketter basert på skogråstoff. Produksjonen var på 42 000 tonn i 2006. Briketter blir i hovedsak solgt i bulk i det innenlandske markedet og prisen er om lag 40 % lavere enn for pellets.

Tilgangen på biomasse er på kort sikt ingen vesentlig barriere for økt produksjon av bioenergi i Norge. Verdiskapning og miljøkonsekvenser er om lag som for øvrige utnyttelse av disse biomasseressursene. Skogressursene brukes i dag til industriell produksjon med store krav til leveringssikkerhet og logistikk. Energiproduksjon fra det samme råstoffet stiller ikke fundamentalt andre krav enn papir- eller trelastproduksjon. Skogressursene er i Norge fordelt på

over 100 000 skogeiendommer, men det meste av avvirkning og transport av tømmer er organisert gjennom skogeierforeninger og virkesinnkjøpselskap. Disse er i økende grad aktive innen forsyning av både biomasse til energiproduksjon og levert energi. I tillegg er det mange små leverandører av flis til mindre anlegg.

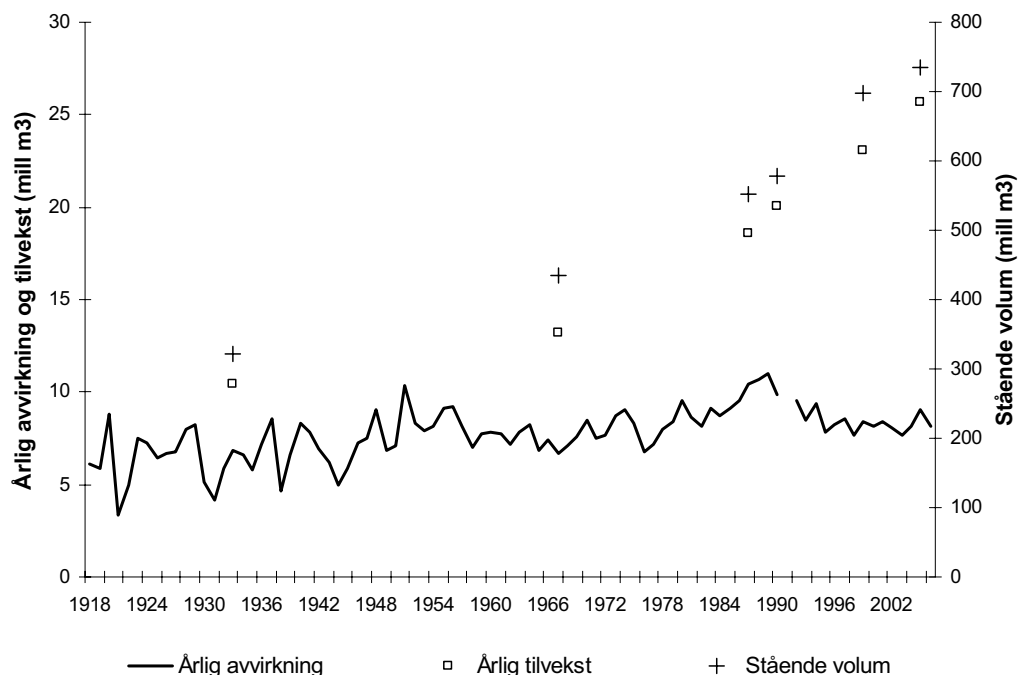
Bruttoverdien av en netto økning av bioenergi fra 16 TWh 40 TWh vil være om lag 10 milliarder kroner med dagens energipriser. En vesentlig del av verdiskapingen vil være lokalt knyttet til forvaltning av skogressurser og foredling av råstoffet. I tillegg kommer mulig verdiskaping innenfor teknologiutvikling og leveranser av tekniske løsninger til utlandet. Økt bruk av bioenergi vil gi vesentlige bidrag til reduksjon av klimagassutslipp. Dette fordi utnyttelsen av selve biomassen defineres som CO₂-nøytral ved at karbonet som frigjøres inngår i det naturlige kretsløpet. En ny studie (Sjølie 2007) viser eksempelvis at det spares 300 tonn CO₂ ekvivalenter pr GWh når olje byttes ut med pellets i sentralvarmeanlegg. Det er her tatt hensyn til alle utslipp knyttet til transport, foredling og forbrenning av biomassen. Bruk av biomasse til energiproduksjon vil i tillegg redusere vår anhengighet av importert kraft samt usikkerheten relatert til variasjoner i tilgang på vannkraft, som er relatert til nedbør.

2.1.2 UTFORDRINGER

Hovedutfordringen knyttet til økt bruk av bioenergi i Norge er ikke tilgangen på biomasse, men de samlede økonomiske forutsetningene for investeringer og leveranser av bioenergi. Pris og tilgang på biomasse og brensler er en del av dette bildet, men det er rammevilkårene for energileveransene som er hovedutfordringen for bioenergi i Norge. Dersom bruken av biomasse til energiformål i Norge skal øke med flere TWh, finnes det imidlertid flere utfordringer.

Skogråstoff

Selv om tilvekst og stående volum av tømmer er økende, er avvirkningen relativt stabil som vist i Figur 4.



Figur 4: Årlig avvirkning, tilvekst og stående volum av tømmer i Norge. Kilde: SSB 2005.

Det er flere faktorer som påvirker skogeiernes beslutning om å avvirke, men pris er isolert sett den viktigste faktoren. Økt pris og/eller lavere driftskostnader er derfor sentralt for å gi økt tilgang på biomasse. Dagens massevirkepriser som ligger i størrelsesorden 200-260 kr/fm³ (kr 0,1-0,13 kr/kWh) levert bilveg er et utgangspunkt for skogbasert råstoff. Flere studier viser en sammenheng mellom pris og tilbudt kvantum på om lag 1-1, det vil si at en på regional basis må øke prisen til skogei med om lag 1 % for å få 1 % økning i avvirkingen (Bolkesjø 2004).

Uttak av biomasse fra skogkulturarbeid, samt hogstavfall og stubber fra sluttavvirking til bruk som skogsbrensel har de senere år vunnet popularitet i våre nordiske naboland. Dette har så langt ikke vært vanlig praksis i Norge. Derfor har heller ikke denne biomassen fått noe oppmerksomhet i den ressurskartleggingen som utføres av Landsskogtakseringen. Tallene i Figur 4 viser bare volum av tømmer, og ikke hogstavfall og stubber. For å gi estimater på hvor store ressurser som faktisk finnes, samt hvilke kriterier som skal legges til grunn for å avkorte avvirkingen av hensyn til næringsbalanse, biologisk mangfold, økonomi og så videre, må en derfor benytte erfaringstall fra Sverige og Finland. Der har man sett at prisen på hogstavfall omtrent tilsvarer prisen på massevirke pr kWh. Det har til nå vært svært liten inntekt til skogei i denne prisen, og dersom interessen for denne utnyttelsen skal øke, må en forutsette at prisen stiger.

Bedret teknologi for avvirking/høsting, transport, lagring og produksjon av biobrensler kan gi lavere kostnader for brenselleverandør, høyere inntekt til grunneier og lavere pris til konsument. En vesentlig økning i biomasseutnyttelsen vil også gi et behov for å se på endringer i organiseringen i råstoffmarkedet, inkludert avtaleformer og rollefordeling i verdikjedene. I Sverige er den relative utnyttelsen av biomasseressursene høyere enn i Norge, blant annet grunnet bedre logistikk fra stubbe til ferdig produkt og mer omfattende bruk av politiske virkemidler (Berg 2003, Mahapatra *et al.* 2007, Bjorheden 2006, Hillring 1998).

Endringer i uttak og produksjonssystemer for biomasse gir nødvendigvis miljøpåvirkninger. Avskoging, jordbearbeiding, bruk av kunstgjødsel og omlegging fra matproduksjon til energiproduksjon i jordbruket er globale utfordringer knyttet til økt bruk av bioenergi. I Norge er miljøutfordringene i første rekke knyttet til en vesentlig økning i utnyttelse av skogressursene. I dag er utnyttelse av skogressursene moderat og basert på standarder for bærekraftig skogbruk. Miljøutfordringene knyttet til en stor økning i uttak av skogressursene er i hovedsak:

- Økt avvirking og økt bruk av hogstavfall gir mer intens bruk som påvirker det biologiske mangfoldet.
- Uttak av hogstavfall gir mer homogene habitater som igjen påvirker sammensetningen av flora og fauna og påvirker jordsmonnet.
- Økt etterspørsel etter tømmer kan gi økt tynning av tette bestand som igjen kan gi en forbedring av habitatverdien.
- Uttak av biomasse innebærer eksport av næringsstoffer. Innholdet av næringsstoffer er lavest i veden og høyest i krona. Uttaket påvirkes derfor av samlet uttak og i hvilken grad grener og topp blir igjen.
- Jordsmonnet er sårbart og hogstavfall reduserer den direkte påvirkning av skogsmaskiner, regn, sol og vind og vil dermed redusere erosjonen. Økt temperatur med kortere sesong med frossen mark vil forsterke denne effekten.
- Hogstavfall og død ved påvirker vannets kretsløp og virker som filter for vannkvaliteten. Økt avvirking/uttak påvirker vannets kretsløp.
- Redusert karbonbinding gjennom reduksjon i stående volum eller redusert mengde karbon i jord kan gi samlet negativ effekt

Økt bruk av bioenergi vil skape økt konkurranse om råstoffet. Eksisterende skogindustri vil derfor merke økt konkurranse fra nye aktører og dermed økte råstoffkostnader (Bolkesjø *et al.* 2006). I Norge gjelder dette i første rekke sponplateindustrien. Fra ca 2020 forventes det at 2. generasjons drivstoff basert på cellulose vil skape konkurranse om råstoffet også for produsenter av varme/el.

Internasjonal forskning knyttet til råstofftilgang fra landbruket er knyttet til utvikling av produksjonssystemer i skog, og for energivekster på dyrket mark. Effekter av internasjonal handel og miljø- og klimagasseffekter av økt bruk av biomasse til energiformål er andre områder som har internasjonalt forskningsfokus. Både i Norge og internasjonalt, ikke minst i Sverige og Finland, forskes det på logistikk og kostnader ved uttak av skogsråstoff til bioenergiformål for å bidra til å øke bruken av bioenergi. Utnyttelse av virke fra kulturlandskap og fra yngre produksjonsskog etter avstandsregulering og førstegangstynning, effektivisering av skogsbrenseluttak fra yngre produksjonsskog og produksjon av ”energibunter” fra hogstavfall og heltrær, er problemstillinger i pågående prosjekter som gjennomføres i samarbeid med brukere i verdikjeden.

Det arbeides også med å forbedre kvaliteten på skogsbrenselet. Her vil flis, pellets og briketter som råstoff for omforming til varme, gass og flytende brensel bli studert nærmere. Målet er å forbedre kvaliteten av skogsbrensel for ulike bioenergiformål slik at bioenergi blir mer konkurransedyktig.

Energievekster fra jordbruket

Da jordbruksarealet i Norge er nesten fullt utnyttet til matproduksjon og det er lite realistisk å øke arealet gjennom nydyrking, skal det til en betydelig omlegging av landbrukspolitikken før det kan bli aktuelt å ta i bruk store arealer til dyrking av vekster for energiproduksjon. Hvis vi fikk en slik omlegging måtte energimarkedet konkurrere med matmarkedet om ressursene. Dette er trolig lite aktuelt i et 5-10 års perspektiv og jordbrukt vil først og fremst bidra med vekster som både kan gi energi og mat (oljevekster), ressurser som allerede blir produsert (halm), eller vekster som kan kombinere bioenergiproduksjon og redusere miljøbelastningen fra jordbruket (gras og energiskog).

Som vist er halm i dag den viktigste energiressursen fra jordbruksarealene. Norge har store avstander og relativt små driftsenheter. Dette betyr at en står overfor store utfordringer innen logistikk for å kunne få til en effektiv innsamling av halm. Kostnaden til samling av halmen på jordet er i dag 20-25 øre per kg/5-6 øre pr kWh. Transportkostnad fra jordet til kunde vil variere mye med transportavstand, volum og tekniske løsninger som velges.

For å kunne få til en mest mulig konkurransedyktig produksjon av oljevekster må avlingene heves, og det får vi bare til dersom vi kan dyrke høstoljevekster. Problem med disse under norske klimaforhold er dårlig overvintring, og vi trenger nye og mer vinterherdige sorter og ny kunnskap om dyrkingsteknikker som kan gi en avling med sikrere overvintring. Får vi til dette, kan dyrkingsarealet og den totale produksjonen økes betydelig. Dersom dyrkingsikkerheten blir akseptabel, og prisen gjør produksjonen mer interessant enn kornproduksjon, bør det være realistisk å kunne dyrke 80.000 – 100.000 dekar høstoljevekster på sikt.

Det høye kostnadsnivået i norsk jordbruk gjør det vanskelig å konkurrere med importerte råvarer. For all produksjon av vekster til bioenergi vil det være vesentlig at tilskuddsordningene og markedsbeskyttelsen opprettholdes. Uten disse tiltakene vil ikke jordbruket kunne produsere energivekster. For at økonomien i produksjon av energi fra jordbruksvekster skal være

tilfredsstillende, er det også viktig at det etableres mottakere av restproduktene fra produksjon av olje, etanol eller gass. Disse produktene er ofte verdifulle som tilskudd til fôr eller gjødsel. Samlet sett er derfor potensialet for bioenergiproduksjon fra jordbruket i Norge begrenset og på kort sikt er utvikling av biogassanlegg for avfallsprodukter mest aktuelt.

2.1.3 FoU BEHOV

Forskningsutfordringene knyttet til utvikling av biomasse og brensler for energiproduksjon er på kort sikt knyttet til utvikling av effektiv teknologi og organisering av verdikjeden fra råstoff til innfyrt brensel. Lavere kostnader vil gi lavere pris til konsumentene, økte inntekter for aktørene i verdikjeden og derigjennom gi økte leveranser. Kunnskap om internasjonal utvikling på dette området og miljø- og klimagasseffekter av ulike produksjonssystemer er sentrale norske og internasjonale problemstillinger. Det finnes relevante undersøkelser gjort både i Norge og i andre land, men resultatene varierer mye, beroende både på at forskjellige metoder er brukt og på lokale forskjeller mellom de områdene som er undersøkt.

Viktige forskningsoppgaver inkluderer både prosessstudier, for å kvantifisere og forstå de grunnleggende prosessene i skogøkosystemet, og kartlegging /modellering for å kunne oppskalere resultatene fra prosessstudiene både i tid og rom.

Viktige forskningsoppgaver knyttet til råstofftilgang er:

1. *Utvikling av verdikjeder fra skog til brensler*

Bedret teknologi, logistikk og organisering av verdikjedene er sentrale utfordringer for å redusere kostnadene og øke produksjonen av bioenergi i Norge. Utvikling av kvalitet på brensler med utgangspunkt i ulike råstoff er viktig for effektiv energiproduksjon. I Sverige og Finland er skogforholdene relevante for Norge og der forskes det mye på disse problemstillingene. Samarbeid med forskningsmiljøene der vil være av stor betydning.

2. *Internasjonal handel med fiber og biobrensler, trender og aktører.*

Internasjonal handel vil skape eksport- og importmuligheter for norske aktører. Analyse av europeiske og globale trender knyttet til tilbud, etterspørsel, kostnader, konkurranseforhold og energiregnskap vil være viktig for både norske og andre europeiske aktører.

3. *Optimal skogbehandling ved økt bruk av trevirke til energiformål*

Økt bruk av biomasse påvirker hva som er optimal skogbehandling både i forhold til miljø og økonomi. Om vi skal kunne forutsi effektene av økt biomasseuttak, må vi forstå de grunnleggende prosessene i skogøkosystemet, for eksempel nedbrytning av organisk materiale i jorda, samt faktorer som påvirker vedlevende organismer, både de sjeldne og skadeorganismene. Relaterte forskningsoppgaver er kartlegging av områder der økt biomasseuttak kan forekomme uten alvorlige negative effekter på skogøkosystemet, muligheter for tilbakeføring av askestoffer, effekter av nitrogen gjødsling og effekter av økt temperatur og kortere periode med frossen mark stiller nye krav til teknologi.

Utviklingen av bioenergimarkedet i Norge vil ha stor betydning for norske klimagassutslipp, forsyningssikkerhet og verdiskaping, ikke minst i distriktene. Bruttoverdien av 10 TWh med mer biovarme vil eksempelvis være om lag 5 milliarder kroner og redusere Norges CO₂ utslipp med 1,5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter gjennom substitusjon av fossilt brensel. Hvis biovarmen erstatter elektrisk oppvarming fra kullkraft, vil reduksjonen bli 10 millioner tonn CO₂. Antar vi halvparten av hver blir det ca 6 millioner tonn. Effektivt og miljømessig forsvarlig uttakt og foredling av denne biomassen er en forutsetning for å lykkes med en slik satsing. FoU i

samarbeid mellom forskningsmiljøene, myndighetene som setter rammebetingelsene og aktørene i verdikjedene er nødvendig for å utvikle dette feltet videre.

2.1.4 Litteratur

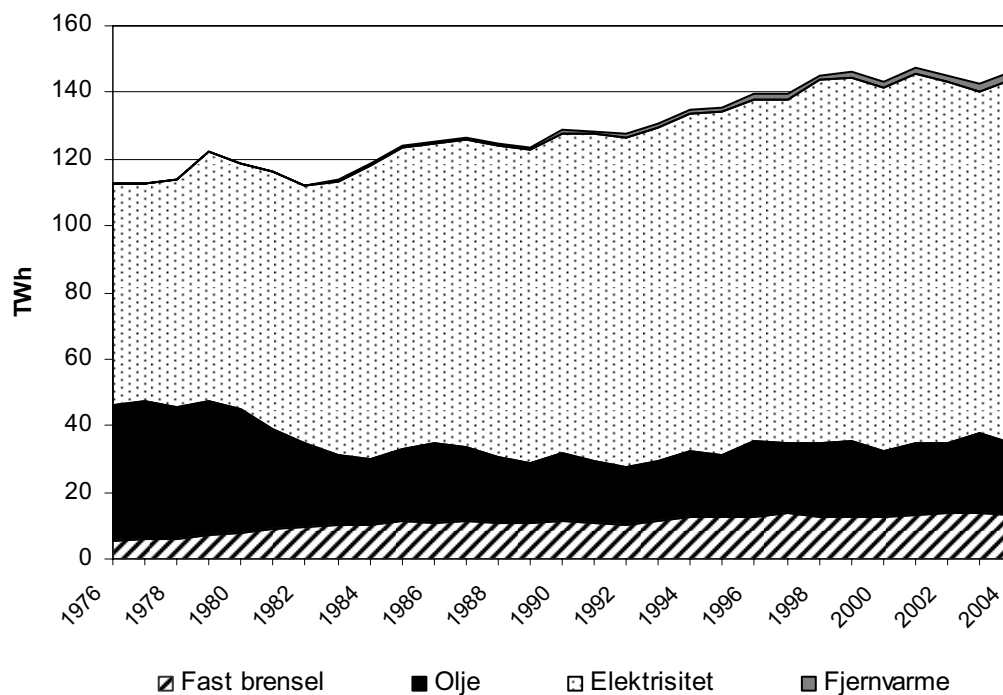
- Adahl, A., Harvey, S., Berntsson, T. 2006: Assessing the value of pulp mill biomass savings in a climate change conscious economy. *Energy Policy* 34(15):2330-2343.
- Berg, S. 2003: Harvesting technology and market forces affecting the production of forest fuels from Swedish forestry. *Biomass & Bioenergy* 24(4-5):381-388.
- Bjorheden, R. 2006: Drivers behind the development of forest energy in Sweden. *Biomass & Bioenergy* 30(4):289-295.
- Bjornstad, E. 2005: An engineering economics approach to the estimation of forest fuel supply in North-Trondelag county, Norway. *Journal of Forest Economics* 10(4):161-188.
- Bjornstad, E., & Skonhoft, A. 2002: Wood fuel or carbon sink? Aspects of forestry in the climate question. *Environmental & Resource Economics* 23(4):447-465.
- Bolkesjø, T.F. 2004. Modeling supply, demand and trade in the Norwegian forest sector. Doctor Scientiarum Thesis 2004:10, Agricultural University of Norway, Ås. p.
- Bolkesjø, T.F., Trømborg, E., Solberg, B. 2005: Economic consequences of increased forest conservation in Norway, *Environmental & Resource Economics* 31(1): 95-115.
- Bolkesjø, T.F., Trømborg, E., Solberg, B. 2006: Bioenergy from the forest sector: Economic potential and interactions with timber and forest products markets in Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 21: 175-185.
- Brannlund, R., & B. Kristrom. 2001: Too hot to handle? Benefits and costs of stimulating the use of biofuels in the Swedish heating sector. *Resource and Energy Economics* 23(4):343-358.
- Christiansen, A. C. 2002: New renewable energy developments and the climate change issue: a case study of Norwegian politics, *Energy Policy* 30: 235-243.
- European Environment Association 2006: How much wood can Europe produce without harming the environment? EEA Report No 7/2006.
- Faaij, A.P.C. 2006: Bio-energy in Europe: changing technology choices. *Energy Policy* 34(3):322-342.
- Gustavsson, L., & Madlener, R. 2003: CO₂ mitigation costs of large-scale bioenergy technologies in competitive electricity markets. *Energy* 28(14):1405-1425.
- Hamelinck, C.N., & Faaij, A.P.C. 2006a: Outlook for advanced biofuels. *Energy Policy* 34(17):3268-3283.
- Hillring, B. 1998: National strategies for stimulating the use of bioenergy: Policy instruments in Sweden. *Biomass & Bioenergy* 14(5-6):425-437.
- Hillring, B. 2006: World trade in forest products and wood fuel. *Biomass & Bioenergy* 30(10):815-825.
- Hooper, R.J., & Li, J. 1996: Summary of the factors critical to the commercial application of bioenergy technologies. *Biomass & Bioenergy* 11(6):469-474.
- Junginger, M., de Visser, K., Hjort-Gregersen, J. Koornneef, R., Raven, A., Faaij, A.P.C., Turkenburg, W. 2006: Technological learning in bioenergy systems. *Energy Policy* 34(18):4024-4041.
- Junginger, M., Faaij, A.P.C., Bjorheden, R., Turkenburg, W.C. 2005: Technological learning and cost reductions in wood fuel supply chains in Sweden. *Biomass & Bioenergy* 29(6):399-418.
- Kirschbaum, M.U.F. 2003.:To sink or burn? A discussion of the potential contributions of forests to greenhouse gas balances through storing carbon or providing biofuels. *Biomass & Bioenergy* 24(4-5):297-310.

- Mahapatra, K., L., Gustavsson, Madlener, R.. 2007: Bioenergy innovations: The case of wood pellet systems in Sweden. *Technology Analysis & Strategic Management* 19(1):99-125.
- Nobio 2007: "Pris og salgsstatistikk for bioenergi i Norge 2006". <http://www.nobio.no>
- NVE 2003: "Bioenergiressurser i Norge". Oppdragsrapport Nr 7/2003
- NVE 2006: "Biomasse – nok til alle gode formål?" KanEnergi oppdragsrapport P06 037.
- Raymer, A.K.P. 2006: A comparison of avoided greenhouse gas emissions when using different kinds of wood energy. *Biomass & Bioenergy* 30(7):605-617.
- Roos, A., R.L. Graham, B. Hektor, Rakos, C.. 1999: Critical factors to bioenergy implementation. *Biomass & Bioenergy* 17(2):113-126.
- Sims, R.E.H. 2001: Bioenergy - a renewable carbon sink. *Renewable Energy* 22(1-3):31-37.
- Sjølie, H.K 2007: Possible reductions of greenhouse gas emissions by use of wood fuels in Norway. Masteroppgave ved UMB 2007.
- SSB 2005: Skogstatistikk.

2.2 VARME- OG EL-PRODUKSJON BASERT PÅ BIOMASSE

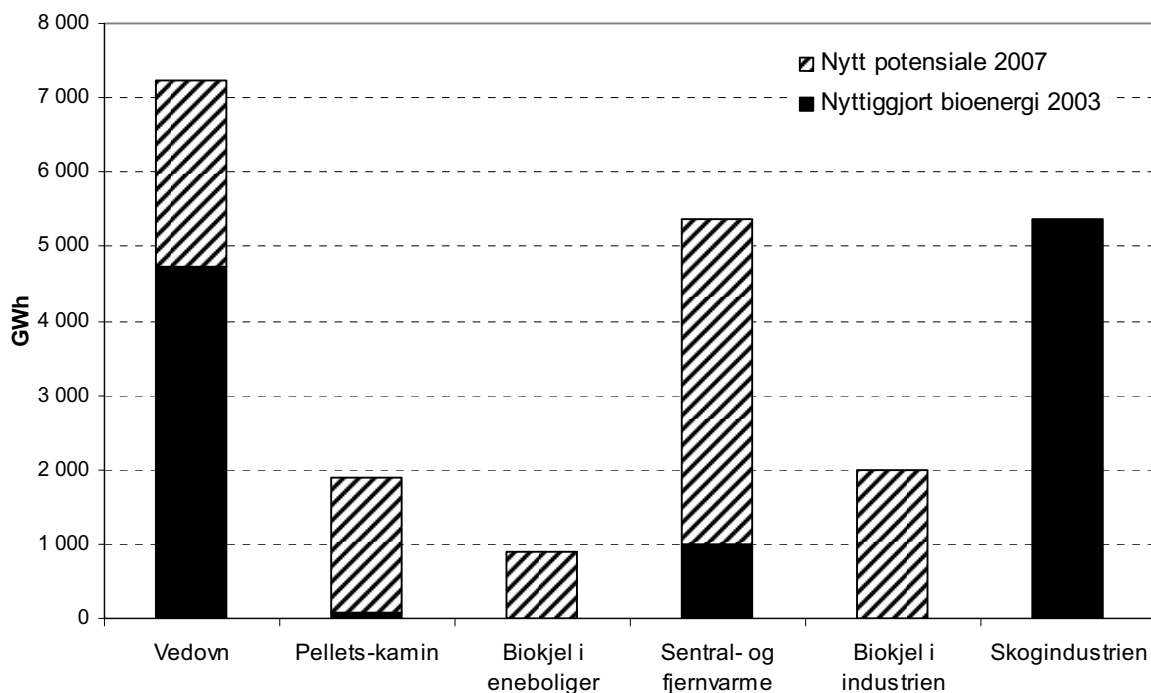
2.2.1 DAGENS SITUASJON

Som allerede nevnt i kapittel 1 karakteriseres Norge i europeisk sammenheng ved høyt energiforbruk per innbygger og høy andel elektrisk kraft. Elektrisitet utgjør 50 % av det innenlandske energiforbruket, fossile brensler 43 % og bioenergi 7 %. Stor tilgang på vannkraft til lave priser har gitt en begrenset satsing på andre fornybare energikilder og vannbåren varme i Norge. Av det stasjonære forbruket, det vil si energiforbruk til andre formål enn råstoff, transport og energiproduksjon, er elektrisitet jevnt økende og olje avtagende (Figur 5). En stor andel av elektrisiteten som brukes til oppvarming kan erstattes med andre kilder som solvarmeanlegg, varmepumper, ENØK-tiltak og bioenergi. Blant disse har bioenergi noen spesielle egenskaper som gjør den attraktiv: Det er den eneste fornybare energiformen som kan lagres over lang tid, den kan utløses ved behov, den forstås av alle, teknologien for bruk er relativt enkel, den er tilgjengelig i store mengder og finnes nesten over alt i Norge, der folk vil bo. Ulempene ved bioenergi er knyttet til investeringsbehov, relativt stort transport- og lagringsbehov og aske/sot. NVE har anslått oppvarmingsbehovet i bygg i Norge til om lag 45 TWh. Tar vi med industrielle prosesser, utgjør oppvarmingsbehovet i Norge mer enn 50 TWh pr år. Dette tilsvarer ca 20 % av det samlede energiforbruket i Norge. I bygningssektoren dekkes om lag 27 TWh av oppvarmingsbehovet med elektrisitet, det resterende dekkes av olje og tradisjonell vedfyring, samt varmepumper, fjernvarme og naturgass.



Figur 5. Stasjonær energiforbruk i Norge 1976-2005. Kilde: SSB 2006.

I industrien er elektrisitet og olje dominerende. Vedovner og forbrenning av restprodukter i skogindustrien er den dominerende energibruken av biomasse i Norge i dag. Ut fra eksisterende rammevilkår er punktoppvarming og utskifting av eksisterende oljebrennere i sentralvarmeanlegg det største potensialet for bioenergi i Norge. Figur 6 viser eksisterende varmeproduksjon og estimert potensial for ulike teknologier for varmeproduksjon basert på biomasse i Norge. Varslede klimaendringer kan føre til svikt i de sentraliserte systemene for energiforsyning (blant annet på grunn av høyere frekvens av ekstremvær). Dersom biovarme erstatter elektrisitet og frigjør denne til annen bruk, tilsvarer dette å produsere elektrisitet fra biomasse med 100 % virkningsgrad. Dette er et særnorsk fenomen (på grunn av vårt store behov for oppvarming), men det har så stort potensial både for klimagassutslipp og forsyningssikkerhet at det bør vies betydelig oppmerksomhet.



Figur 6. Nettoproduksjon av bioenergi i 2003 og estimert teknisk/økonomisk potensial for økt bioenergiproduksjon i Norge. Potensialet for pelletskaminer er isolert sett større en vist her, men vil da på bekostning av potensialet for vedovner. Kilde: Trømborg *et al.* (2007a og b).

Det produseres i dag om lag 0,5 TWh elektrisitet fra biomasse i treforedlingsindustrien og i avfallsanlegg. KanEnergi (2004) vurderte mulighetene for biobasert elproduksjon mot 2010 og pekte på følgende teknologier som aktuelle i Norge:

- Nye avfallsforbrenningsanlegg med dampkjel og dampturbin eller dampmotor.
- Deponigassanlegg basert på dagens faking og fremtidig faking med gassmotorer.
- Biogass – kloakkrensingsanlegg samt anlegg for behandling av våtorganisk avfall med bruk av gassmotorer.
- Sagbruk – utskifting eksisterende fyrkjel til dampkjel og dampturbin eller dampmotor.
- Fjernvarme – nye anlegg og utvidelser av eksisterende anlegg samt etter hvert utskifting av eksisterende fyrkjel med dampkjel og dampturbin eller dampmotor.

Lønnsomheten varierer betydelig mellom disse teknologiene. Generelt reflekterer rekkefølgen av områdene over fallende lønnsomhet, men det finnes flere unntak. Undersøkelsene fra KanEnergi viste at man med investeringer på omlag 1,7 – 2 mrd. kroner (eks mva) vil kunne skaffe til veie en bioenergi basert elproduksjon på 450-500 GWh. Produksjonskostnadene for elektrisitet for ulike teknologier vil variere fra vel 20 øre/kWh til vel 1 kr/kWh.

EU har satt som mål å øke andelen av fornybar elektrisitet fra 12,9 % i 1997 til 21 % i 2010 (EU direktiv 2001). Medlemslandene står fritt i å velge hvilke virkemidler de ønsker å bruke for å nå målene. De fleste landene støtter produksjon av elektrisitet fra biomasse gjennom investeringstøtte og feed-in tariff. Det gjennomsnittlige tillegget på markedsprisen for el er fra 5 til 7 eurocents pr kWh, det vil si fra 42-59 øre pr kWh, mens den enkelte land som Tyskland er betraktelig høyere (opp til 21,5 eurocents eller kr 1,75 pr kWh) (IEE 2006). Med dagens rammevilkår og teknologi er lønnsom el-produksjon basert på biomasse avhengig av rimelig råstoff som avfall eller store anlegg i kombinasjon med varmeproduksjon.

Aktører i varmemarkedet er større energiselskaper som Trondheim Energi, Eidsiva Energi, Agder Energi, leverandører av bioenergi og teknologi som Biovarme as, Eiker Bioenergi as, Energos, Solør Bioenergi, INC, Norsk Inova, BioNordic, Jøtul, Dovre, Granit-Kleber og større engineering selskap som for eksempel Aker-Kværner.

2.2.2 UTFORDRINGER

Hovedutfordringen for økt bruk av biomasse til energiproduksjon i Norge er høye investeringskostnader i forhold til energiprisen og store variasjoner i prisene, spesielt på kraft. I tillegg er det utfordringer knyttet til kompetanse og motivasjon for nye løsninger. Begrenset tilgang på vannbåren varmedistribusjon begrenser også potensialet. Lave strømpriser gjennom årtier har gjort at investeringene i vannbårne systemer har vært liten. Med dagens energipriser og tilskuddsordninger krever installering av vannbåren varme i eksisterende bygningsmasse ofte relativt store investeringer. Energiprisene varierer, men har også hatt en stigende trend siden tidlig på nittitallet. Prisnivået for el og olje gjør at investeringer i sentral- og fjernvarme basert på biomasse er i ferd med å bli lønnsomme. Samtidig er en forventning om fortsatt økende energipriser nødvendig dersom konsumenter og investorer skal satse på bioenergi. Økende forbruk og liten utbygging av ny kapasitet, gjør sammen med klimapolitikk og dyrere fossilt brensel (som er hovedråstoffet for elproduksjon i Europa), at vi må forevente en fortsatt stigende trend på el-prisene.

Utskifting av den oljebaserte oppvarmingen gjennom bruk av biokjeler i sentral- eller fjernvarmeanlegg representerer et viktig potensial for bioenergi i Norge. Energipolitikken er en viktig forklaring på hvorfor bioenergi utgjør en mindre andel av energimarkedet sammenlignet med Sverige og Finland. Sverige har høyere elektrisitetspriser enn Norge pga avgifter og en mer aktiv virkemiddelpolitikk. Både i Finland og i Sverige er også skogsektoren betydelig større enn i Norge med en avvikning på 5-6 ganger norsk nivå. Videre gir treforedlingsindustrien i disse landene mer overskuddet av biomasse som kan nyttes til energiformål, fordi den har høyere virkesforbruk pr produsert tonn papir (mer kjemisk masse).

Historisk sett lave elektrisitetspriser har gjort det norske samfunnet sårbart for høye elektrisitetspriser. I kraftkrevende industri er konkurransevnen i stor grad avhengig av lave kraftpriser. Mange husholdninger har begrensede muligheter for andre energikilder enn elektrisitet fordi huset eller leiligheten er bygd uten pipe eller tilgang til vannbåren varme.

Dagens virkemiddelpolitikk reduserer i begrenset grad usikkerheten knyttet til investeringene i bioenergi. Skal bioenergi utgjøre en viktig del av norsk energiforsyning, trengs en mer offensiv virkemiddelpolitikk, offentlig bevissthet i form av konsesjoner og krav, og mer kompetanse på området.

Bioenergi kan spille en betydningsfull rolle i det norske energimarkedet fremover og en samlet varmeproduksjon på ca 20 TWh er praktisk mulig gjennom utskifting av oljebasert oppvarming og økt bruk av ved- og pelletsovner i private husholdninger. Spredt bosetting og mangel på vannbåren varme gjør at utvikling av distribuerte løsninger er en spesiell norsk utfordring. Slike løsninger kan bidra til å redusere elforbruket i bygninger uten vannbåren varme og dermed bedre forsyningssikkerheten. Eksempelvis vil pelletskamener med uttak av varme til 1-2 radiatorer være en interessant løsning for mange norske eneboliger uten vannbåren varme. Behovet for å utvikle varmemarkedet bringer også inn viktigheten av å øke kraftutbyttet fra bioenergi. Elektrisk virkningsgrad er i dag lav i forhold til fossile brensler, som gass og kull. Den elektriske

virkningsgraden er også en funksjon av størrelse på anlegget og blir lavere jo mindre anlegget er. Den elektriske virkningsgraden for et relativt stort anlegg er i området 20-30%, mens kull ligger i området 40 % og gass på 60 %. Årsaken til at virkningsgraden er lav er problemer knyttet til korrosjon og beleggdannelse i kjel på grunn av brenselets kvalitet (innhold av klor og alkaliemetaller).

Forbrenning av ved i vedovner utgjør per i dag ca. 2/3 av alt utslipp av partikler i Norge. Samtidig vet en at partikler forårsaker store økonomiske konsekvenser i form av økte kostnader over helsebudsjettet på grunn av de helsefarlige effektene partiklene representerer. Her er det et stort potensial i å redusere utslippene ytterligere (utover det som gjøres i dagens rentbrennende ovner).

2.2.3 FoU-BEHOV

1. Kraft- og varmeproduksjon fra biomasse og avfall

Aktiviteter innen dette området bør fokusere på å øke kraftutbyttet fra biomassen samtidig som en tar hensyn til brenselets egenskaper og miljøaspektet. Fokus bør ligge på alle skalanivå (fra små (>1 MW) til stor skala (>30 MW)). Aktiviteter her kan både være av langsiktig karakter (for eksempel avanserte prosesser som avansert forbrenning og gassifisering, som kan gi betydelig økt virkningsgrad) og mer kortsiktig karakter hvor et konsept eller deler av et konsept som bygger på kjent teknologi kan utvikles frem mot pilotstadiet. Konseptene kan være knyttet til varmeproduksjon, kraftproduksjon eller kraftvarmeproduksjon (CHP).

2. Småskala varmeproduksjon – distribuerte løsninger

Aktuelle aktiviteter er varmeproduksjon i boliger og i nærvarmesystemer for oppvarming av for eksempel offentlig bygg eller borettslag. Fokus bør ligge på utvikling av løsninger og teknologi som minimerer utslipp, er kostnadseffektive og driftssikre. Aktiviteter innen dette segmentet bør ligge i tidsperspektivet kort til medium sikt.

3. Livsløpsvurderinger og energiregnskap

Metodeutvikling og gjennomføring av livsløpsvurderinger, effekt- og energisamspill mellom ulike energibærere som vannkraft, vindkraft, samt energiregnskap vil bli mer sentralt både for sektorer og bedrifter i fremtiden, både for utvikling av effektive produksjonsprosesser og for dokumentasjon overfor kunder og samfunn.

4. Politikk og virkemidler for utvikling av verdikjedene i varmemarkedet

I tillegg til systemer og teknologi, er økt bruk av bioenergi avhengig av at tilbydere og konsumenter bestemmer seg for å ta i bruk bioenergi. I tillegg til lønnsomhet, er tilstrekkelig informasjon nødvendig for slike beslutninger. Barrierer, planleggingsmodeller og effektiv politikk bør sammenstilles mellom land med ulike modeller og resultatoppgåelse innen fornybar energi.

Effektiv teknologi og et velfungerende marked hvor kostnader knyttet til miljøeffekter er ivarettatt, er nødvendig for økt bruk av biomasse til energiproduksjon. Energidelen av verdikjedene er driveren i utviklingen av bioenergi og FoU innen dette området er sentralt for utvikling av hele verdikjeden.

2.2.4 LITTERATUR

- IEE 2006: "Sustainable Strategies for Biomass Use in the European Context". Institute for Energy and Environment 1/2006. http://www.erneuerbare-energien.de/files/english/renewable_energy/downloads/application/pdf/biohandel_endbericht01_en.pdf
- KanEnergi 2004: Oppdragsrapport nr 1/2004. Elproduksjon basert på biobrensler. Teknisk - økonomisk potensial. www.kanenergi.no
- SSB 2006: Energiregnskapet
- Trømborg, E., Bolkesjø, T.F., Solberg, B. 2007a: Impacts of policy means for increased use of forest-based bioenergy in Norway – a spatial partial equilibrium analysis. *Energy Policy* 35 (2007) 5980–5990.
- Trømborg, E., Bolkesjø, T.F. & Solberg, B. 2007b: Skogbasert bioenergi til oppvarming - økonomisk potensiale i Norge og effekt av økonomiske virkemidler. Fagrapport nr 9 2007. www.umb.no/INA - publikasjoner.

2.3 ENERGIPRODUKSJON BASERT PÅ BIOGASS

2.3.1 DAGENS SITUASJON

Husdyrgjødsel og vått organisk avfall som for eksempel matavfall, avfall fra næringsmiddelindustri, avlingsrester fra landbruket og energivekster er godt egnet som substrater for biogassproduksjon. Det er utviklet mange forskjellige typer biogassprosesser, fra enkle små anlegg til høyteknologiske store industrianlegg. Det foregår også en utvikling innen forbehandlingen av substratet som skal behandles, både med hensyn til renseprosesser, temperaturbehandling og hygienisering. Det våte restproduktet (bioresten) kan benyttes til gjødsel slik at biogassprosessen ikke produserer noen form for avfall.

Biogassprosessen benyttes med forskjellig råstoff/substrater. Tabell 4 viser mengder av slikt avfall i Norge i dag, samt potensial for biogass produsert fra energivekster. Aktørene som er involvert, type anlegg, rammevilkår, verdikjeder, marked og utfordringer/ forskningsoppgaver vil være avhengig av type råstoff/substrat. Det er derfor hensiktsmessig å behandle de ulike verdikjedene knyttet til matavfall og næringsavfall, husdyrgjødsel, avlingsrester og energivekster og avløps slam hver for seg.

Tabell 4: Mengder råstoff/substrater i Norge som er egnet for biogassproduksjon. Tallmaterialet er basert på offentlig statistikk og personlige samtaler med sentrale aktører.

Kilde	Tonn våtvekt	Tonn tørrstoff	Anslått % organisk	Brenn-verdi GWh	Metan-potensialet Mill m ³	Biogass-potensiale GWh
Matavfall fra private husholdninger	420.000	125.000	80 %	440 30 % TS	47 55	470 550
Matavfall fra storhusholdninger	80.000	20.000	95 %	80 25% TS	10	100
Slakteriavfall. Omdannes nå til kjøttbeinmel og destruksjonsfett, se under	177.000					320
Selvdød fisk fra fiskeoppdrett	40.000					80
Avfall fra meierier (til fôr i dag)	730.000					160
Avløpsslam	400.000	100.000	75 %	320 420 100%TS	20	300 400
Husdyrgjødsel	12.000.000					1.300
Energivekster (gras) 15.000 - 30.000 ha (Anslått potensial)	300.000 600.000					750 – 1.500

Biogass fra matavfall og avfall fra næringsmiddelindustrien

Med den økte fokus på fornybar energi har det vært en sterk økning i interessen for å bruke kildesortert matavfall som råstoff til produksjon av biogass. Det første anlegget ble bygget på Lillehammer i år 2000 med en kapasitet på 14.000 tonn kildesortert matavfall. Senere ble det bygget flere anlegg, og mange er under planlegging. Disse anleggene kan bare behandle en brøkdel av mengden kildesortert matavfall i Norge som er anslått til ca. 500.000 tonn årlig. I tillegg er slakteriavfall, avfall fra næringsmiddelindustrien, selvdød fisk og annet avfall fra fiskeindustrien godt egnet for biogassanlegg (Tabell 4).

På leverandørsiden, er det bare et begrenset antall norske leverandører av biogassanlegg, og disse benytter i stor grad utstyr og teknologi hentet fra utlandet, i hovedsak Tyskland og Danmark, men også fra andre europeiske land. Cambi er et norsk firma som leverer biogassløsninger, i hovedsak rettet mot store anlegg som behandler mer enn 20 – 30.000 tonn matavfall. Cambi har en egen teknologi for forbehandling av avfallet hvor dette kan trykk og -temperaturbehandles helt opp til mer enn 160 °C. Cambi har levert til anlegget på Lillehammer og det nye anlegget til Ecopro i Verdalen. BioTek er et annet norsk firma som har levert anlegg til HRA på Hadeland og Nissedal i Telemark. BioTek leverer stort sett anlegg i en størrelse for behandling av 10.000 til 30.000 tonn avfall. Det tidligere firma HifoTek leverte et kombinert slam- og matavfallsanlegg på Kongsberg og til Norges foreløpig eneste anlegg for husdyrgjødsel (og avfall fra fiske) ved Åna kretsfengsel på Jæren. Dette firma var forgjengeren til det nåværende BioTek.

Kommunene har en plikt til å behandle matavfall fra husholdningene. Dette gjøres gjennom kommunale, interkommunale eller private selskap, eventuelt gjennom kommunale foretak. Dette innebærer at behandlingsgebyrene for matavfall er den viktigste økonomiske drivkraften for

denne typen biogassanlegg. I tillegg kommer verdien av biogassen som fornybar energi. Foreløpig har dette gått til el og varme. Varmen benyttes i hovedsak på anlegget selv, og det er også økonomisk gunstig å benytte mest mulig strøm på eget anlegg for å slippe utgifter til nettleie.

På grunn av store utslipp av klimagassen metan fra deponert matavfall, ble det forbudt å deponere dette fra år 2002. Fra 2009 vil det være forbudt å deponere alt organisk avfall. I de store byene er det etablert forbrenningsanlegg for husholdningsavfall, men kostnadene er relativt høye ved denne behandlingen. Samtidig har det vært en rekke utfordringer knyttet til de store komposteringsanleggene for behandling av matavfall som ble etablert på 90-tallet. Problemene har vært knyttet til lokale luktutslipp og enkelte anlegg var kostbare både å etablere og drifte. Den økonomiske verdien av den produserte komposten har vært lav. Det viser seg også at suboptimal kompostering gir opphav til utslipp av klimagasser (Beck-Friis *et al.* 2000). Her er det imidlertid mange kunnskapshull.

EU-forordningen som ble innført fra oktober 2002, ble innført i alle EØS-landene 26. oktober 2007. Forordningen stiller krav til hygiene og har medført at innsamlet matavfall fra storhusholdninger og selvdød fisk ikke lenger kan benyttes til fôr (med visse unntak). I tillegg er det mer komplisert å lage fôr av slakteriavfall. Innføringen av denne EU-forordningen øker mengden organisk avfall som vil komme til å bli behandlet i biogassanlegg. EU-forordningen regulerer også drift og tekniske løsninger for biogassanlegg som behandler animalske biprodukter og husdyrgjødsel.

Etter at biogassen er hentet ut, sitter man igjen med en biorest. Denne inneholder relativt stabilt organisk karbon, næringsalter og mye vann. I tillegg kan den inneholde fremmedelementer og miljøgifter fra innkommende avfall. Bruk av bioresten som gjødsel reguleres av gjødselvereforskriften. For at biogassanlegg som behandler matavfall, slakteriavfall og organisk næringsavfall skal være bærekraftige, er det nødvendig at den dannede bioresten resirkuleres, det vil si at den benyttes som gjødsel i landbruket. I dag benyttes ikke biorest fra biogassanlegg i Norge til gjødsel, med unntak av gårdsbiogassanlegget ved Åna kretsfengsel.

Deponiforbudet, innføringen av EU-forordningen om animalske biprodukter og ønske om klimavennlig og miljøvennlig teknologi er de viktigste drivkreftene for innføring av biogassanlegg ved behandling av matavfall i dag. Det økonomiske fundamentet er knyttet til behandlingsgebyrene for matavfall. En av de største utfordringene for dagens biogassanlegg er å etablere samarbeid og ordninger som sikrer at den dannede bioresten inngår som gjødsel i landbruket. Dette innebærer en rekke teknologiske og organisatoriske utfordringer.

Biogass fra husdyrgjødsel, energivekster og restavlinger

I Norge er det for tiden kun en leverandør av mindre gårdsbiogassanlegg – Biowaz. De tester ut en ny og rimeligere teknologi, og de første planlagte anleggene har på denne bakgrunn fått etableringsstøtte fra Innovasjon Norge. Det er ellers aktuelt å benytte utenlandske leverandører direkte. Mange utenlandske leverandører av gårdsbaserte biogassanlegg vurderer vurderer imidlertid det norske markedet som lite med små enheter og dårlige rammebetingelser. Å utvikle teknologi og leverandørindustri for det norske gårdsbaserte biogassmarkedet er derfor en aktuell problemstilling.

Energivekster og restavlinger benyttes ikke i biogassanlegg i Norge i dag, men dette er en viktig energikilde i anlegg i Tyskland, Danmark og Sverige. Husdyrgjødsel benyttes i dag direkte som gjødsel, og biogassanleggene har ikke inntekter knyttet til mottak av dette. Biogassanlegg som behandler husdyrgjødsel vil hindre utslipp av klimagassene metan og lystgass, men dette er

foreløpig ikke verdsatt økonomisk. Dette innebærer at inntekten fra denne typen anlegg vil være avhengig av verdien av produsert energi.

For små gårdsanlegg er det ikke økonomisk mulig å oppgradere biogassen til drivstoffkvalitet. Dette hadde vært en fordel, siden det er vanskelig å utnytte produsert varme gjennom hele året lokalt. Det foregår mye forskning internasjonalt på dette området, og det er sannsynlig at det kan bli aktuelt i framtiden. Foreløpig må gårdsanleggene benytte biogassen til en kombinasjon av el og varme, eller bare til varme. I Norge har vi lave priser på el, og bare svært lav støtte på fornybar el. I Tyskland støttes eksempelvis biogassanlegg med ca. 90 – 170 øre/kWh i 20 år, noe avhengig av størrelse på anlegget, bruk av energivestker og utnyttelse av varmeenergien (Persson 2006). Dette har medført at det bygges om lag 50 nye anlegg per måned i Tyskland.

Lav pris på el, svake støtteordninger og ingen inntekt på mottak av substrat (husdyrgjødsel) er de viktigste årsakene til at gårdsbaserte biogassanlegg er svært lite utbredt i Norge. I tillegg er mange norske gårdsbruk små og vi har et kaldt klima, begge deler noe som krever tekniske tilpasninger for denne typen anlegg.

Biogass fra avløpslam

De fleste etablerte biogassanleggene i Norge er basert på avløpslam som substrat (ca.15 anlegg). Disse anleggene benytter biogassprosessen som en behandlings- og stabiliseringsmetode for slammet. Produksjon av biogass er ikke den primære hensikten, og anleggene finansieres som en del av vann- og kloakkavgiften. Biogassproduksjonen er en tilleggsgevinst og produsert energi i form av el og varme benyttes i hovedsak internt i renseanleggene. Behandling av avløpslam er teknologisk relativt enkelt, sammenlignet med matavfall, og er godt innarbeidet.

Biorest produsert fra slambehandlingsanlegg følger gjødselvereforskriftens restriksjoner for avløpslam. Det er en holdningsmessig skepsis blant bønder for bruk av dette slammet i landbruket. Biorest fra biogassanlegg som benytter avløpslam som en andel av substratet, kan ikke benyttes i økologisk landbruk. Mange biogassanlegg som behandler avløpslam har en overkapasitet og ønsker å ta i mot annet organisk avfall for å øke biogassutbyttet. Man bør være oppmerksom på at dette legger store begrensninger på bruken av bioresten i landbruket. På denne bakgrunn er ikke denne typen anlegg av særlig viktighet for landbruket, og behandles ikke videre i denne rapporten.

2.3.2 Utfordringer

Matavfall og organisk næringsavfall

Potensialet for matavfall og organisk næringsavfall er i Norge i dag på ca. 1,5 mill tonn (Tabell 4) tilsvarende et energipotensial i form av biogass på anslagsvis 1200 GWh. Bare en brøkdel er utbygget til nå. Det er et videre potensial dersom grønnsakavfall og fiskeavfall som nå går til fôr behandles i biogassanlegg, samt dersom de generelle organiske avfallsmengdene øker. Det økonomiske potensialet er vanskelig å anslå, og det må presiseres at betraktningene nedenfor er omtrentlige.

Lønnsomheten for biogassanlegg er avhengige av de framtidige prisene på strøm og varme, samt prisene på biogass benyttet som drivstoff. 1200 GWh kan maksimalt gi om lag 400 GWh el og 600 GWh utnyttbar varme. Med eksempelvis en snittpris på 50 øre pr. kWh tilsvarer dette en

verdi på 500 mill kr per år. Benyttet som drivstoff vil verdien kunne bli høyere da 1200 GWh tilsvarer om lag 125 mill liter med diesel.

Det økonomiske potensialet for landbruket ligger i å benytte bioresten som erstatning for kunstgjødsel. Anslått 1 mill tonn organisk avfall med et N-innhold på 2 % innebærer en N-mengde på 20.000 tonn til en anslått verdi på 140 mill kr per år (7 kr per kg N). I tillegg kommer verdien av fosfor med et anslått innhold på 0,4 % og en verdi på 17 kr/kg, tilsvarende en verdi på om lag 70 mill kr per år. Fosfor er en begrenset ressurs med en forventet økende verdi. Verdien av N er knyttet til energiprisen, og vil således også forventes å øke i fremtiden.

Dersom bioresten har en høy kvalitet kan den benyttes som innsatsfaktor i økologisk landbruk. Verdien av flytende biorest benyttet i økologisk landbruk anslås til en verdi som er 7 ganger høyere enn ved bruk i konvensjonelt landbruk (Lystad *et al.* 2003).

Miljøkonsekvensene vurderes helhetlig som positive, siden biogassprosessen her behandler avfall, og man erstatter eldre og mer forurensende teknologi. Viktige miljøutfordringer er:

- Å unngå lekkasje av den sterke klimagassen metan fra prosess og eventuelle videre oppgraderingsprosesser.
- Transport av store mengder avfall og produsert biorest, dersom denne skal benyttes som gjødsel.
- Lokale klimautfordringer knyttet til behandling av avfall, f.eks. mulige luktproblemer.
- Dersom man ikke lykkes med å benytte produsert biorest som gjødsel til landbruket, evt. som jordforbedringsmiddel til andre markeder, ligger det miljø- og ressursutfordringer knyttet til den produserte bioresten.

Internasjonal forskning innen biogassområdet er i stor grad rettet mot prosessoptimalisering og modellering. Mye forskning foregår også innen studier av virkningen av inhiberende stoffer og uttesting av nye substrater. I større skala foregår det en stadig utvikling av ny prosess teknologi, for eksempel utvikling av biofilmprosesser i sekvensielle reaktorer.

Biogassutnyttelse av kildesortert matavfall er ikke vanlig i verden sett under ett. Dette henger sammen med at matavfall vanligvis deponeres, eventuelt brennes sammen med annet avfall. I Europa innføres det et forbud mot deponering av matavfall for å hindre utslippene av klimagassen metan. Sørøst i Europa blir imidlertid dette kompostert, noe som skyldes et behov for kompost i utarmet og humusfattig jord. Barth (2006) beskriver situasjonen for biogassbehandling av matavfall i Europa og trekker spesielt fram Tysklands og Østerrike for sin satsing på el fra avfall, Danmarks satsing på matavfall sambehandlet med husdyrgjødsel i store gårdsanlegg og Sveriges satsing på biometan som drivstoff.

I Norge forskes det foreløpig lite på biogassprosesser. Dette skyldes at det til i dag ikke har vært et prioritert område. Det foregår en viss FoU-virksomhet knyttet til de to norske leverandørene av biogass-anlegg for behandling av matavfall, BioTek og Cambi. Cambi utfører mye av sin FoU-virksomhet i utlandet, men har gitt uttrykk for behovet for et norsk kompetansemiljø. Også Oslo EGE som er i ferd med å etablere et stort biogassanlegg for behandling av kildesortert matavfall fra Oslo har uttrykt et behov for et slikt miljø i Norge. Ved Bioforsk foregår det FoU-virksomhet knyttet til bruk av biorest som gjødsel som en del av instituttprogrammet "Recycling organic waste – effects on soil quality, plant nutrient supply and environmental impact", støttet av Norges forskningsråd. Bioforsk og UMB gir også hjelp til biogassanlegg i Norge, som en del av sin kompetanse innen anaerob mikrobiologi og reaktorteknologi i laboratorieskala.

Husdyrgjødsel, energivækster og restavlinger

Den samlede produksjonen av husdyrgjødsel i Norge er på 12 – 14 millioner m³. Totalt tilsvarer dette en energiproduksjon i form av biogass på 1300 GWh per år (Wilhelmsen *et al.* 2001), men det er knyttet mye usikkerhet til disse tallene. Hvis vi går ut fra et potensial på 1300 GWh, vil dette brukt som el og varme kunne gi 480 GWh el og 560 GWh varme. Om lag 10 % av den produserte energien benyttes i prosessen til røreverk, pumper og oppvarming (Sørby *et al.*, 2007), slik at man sitter igjen med om lag 900 GWh som salgbar/utnyttbar energi. Verdien av dette er svært nær verdien av energien fra matavfall og organisk næringsavfall.

Både i NOU-rapporten ”Et klimavennlig Norge” (NOU 2006: 18), i SFT sin tiltaksanalyse ”Reduksjon av klimagassutslipp i Norge – En tiltaksanalyse for 2010 og 2020 (SFT 2005) og i Stortingsmelding nr 34 (2006 – 2007) ”Norsk klimapolitikk”, framheves innføring av biogassbehandling av husdyrgjødsel i landbruket som et viktig klimatiltak. Anlegg basert på husdyrgjødsel står imidlertid svakere stilt økonomisk, siden de ikke har inntekt på mottak av avfall. I tillegg vil behandlingen være fordelt på et stort antall mindre anlegg, noe som medfører større investeringskostnader og større driftskostnader. For store fellesanlegg som i stor grad baserer seg på husdyrgjødsel fra mange gårder vil økonomien kunne bli bedre, noe som er bakgrunnen for det store anlegget som er planlagt på Jæren.

Mindre gårdsbaserte biogassanlegg har imidlertid løst en utfordring som de store anleggene til nå ikke har løst – det er spredeareal for bioresten i anleggenes umiddelbare nærhet. Denne fordelingen kommer imidlertid ikke fram i det bedriftsøkonomiske regnskapet.

Til sammenligning med husdyrgjødsel inneholder eksempelvis gras svært mye energi (fordi det ikke er fordøyet enda). Metanpotensialet til gras/kløver ligger på 95 m³ per tonn eller om lag 210 m³ per daa (Sørby *et al.* 2007), mens husdyrgjødsel fra storfe og gris ligger på henholdsvis om lag 14 og 20 m³ per tonn. I Norge er det en politisk målsetting om å opprettholde matproduksjonen på samme nivå som nå. Dermed er det et begrenset areal som kan settes av til energiformål. Gårdsbiogassanlegg vil stort sett være avhengig av et tillegg til husdyrgjødsel for å få en tilstrekkelig høy lønnsomhet/biogassproduksjon. Dette kan løses gjennom tilsetning av hygienisert matavfall. Verdien av hygienisert matavfall forventes å øke, og det vil eventuelt svekke lønnsomheten i anleggene.

Tilskudd av energivækster og vekstrester vil kunne gjøre gårdsbiogassanlegg selvforsynt med energi, uavhengig av varierende etterspørsel etter hygienisert matavfall, og øke anleggenes betydning for klimagassreduksjoner fra landbruket.

Biogassbehandling av husdyrgjødsel fører til reduserte utslipp av klimagassene metan og lystgass. Dette forutsetter etterlagring av biorest i lukkede lagre med oppsamling av metan, noe som fordyrer anleggene, men som er en forutsetning dersom de skal fungere som klimatiltak. Dette er nærmere diskutert under kapittelet om utslipp av klimagasser fra landbruket.

Internasjonal forskning er knyttet til prosesstudier, i likhet med de studiene som er beskrevet for behandling av matavfall og organisk næringsavfall. I tillegg foregår det en forskning på biogassproduksjon basert på energivækster, hvordan skal disse forbehandles for å oppnå et optimalt biogassutbytte. Både ”tørre” og våte prosesser utvikles. Det foregår også noe forskning på biogassbehandling som en del av vekstsyklusen i økologisk landbruk. Ved å biogassbehandle kløver og gras, i stedet for å la det ligge å mineraliseres på jordet (grønn gjødsling), minsker man nitrogentapet. Samtidig kan gjødselen lagres stabilt og benyttes til tider som er mest mulig optimale for produksjonen. Dette kan være viktig for økologisk landbruk i områder med lite husdyrgjødsel, og hvor det er begrensninger med mengden tilsetninger av ikke økologisk

opprinnelse, f.eks. biorest fra matavfall. Fagmiljøet i Lund i Sverige er spesielt aktive på dette området. I Norge foregår ikke forskning på gårdsbaserte biogassanlegg i dag. Det er imidlertid gjort en del utredninger om dette, både ved UMB og ved Bioforsk.

2.3.3 FoU-behov

1. Etablering av et nasjonalt kompetansesenter for biogass som en del av det planlagte bioenergi-senteret på Ås, med tilhørende laboratorieenheter egnet til å betjene det raskt voksende biogassmarkedet i Norge.

Ledende aktører har uttrykt et behov for dette. Et slikt nasjonalt kompetansesenter er også viktig for å kunne lykkes med å videreutvikle/tilpasse biogassanlegg for norske gårdsbruk. Lokaliseringen kan være knyttet til det planlagte Senteret for Fornybar Energi på Campus Ås.

Viktige FoU-oppgaver for et kompetansesenter vil være:

- Å håndtere ulike typer brukerstyrte prosjekter knyttet til prosessoptimalisering, virkningen av begrensende faktorer og sammenhengen mellom tiltak knyttet til prosess og kvalitet på restprodukt/biogjødsel.
- Å sikre utnyttelse av biorest/biogjødsel fra matavfall og organisk næringsavfall som gjødsel i landbruket: gjødseffekt, flerårsvirkning, avrenning og klimaeffekter. Det vil også være utfordringer innen logistikk/transport, effekter av lagring og praktiske forhold knyttet til spredning. Det er et behov for å utvikle alternative produkter egnet for lengre transport, f.eks. avvannede jordforbedringsmidler og spesielle dyrkingsmedier. Ved avvanning av bioresten produseres store mengder gjødselvann og det er viktig at nærings saltene her utnyttes. Her finnes flere alternative muligheter. I dag går dette gjerne til avløpsvannsystemet.

2. Etablering av et typisk pilotanlegg for gårdsbasert biogass

Viktige FoU-oppgaver for et gårdsbasert biogassanlegg vil være:

- Å dokumentere planlegging, bygging og første driftsfase av et pilot biogassanlegg, slik at denne dokumentasjonen kan benyttes til hjelp for senere etableringer av gårdsbiogassanlegg i Norge, og å få en oversikt over den mere langsiktige driftsøkonomien til gårdsbaserte anlegg i Norge.
- Å skaffe erfaringer med håndtering og bruk av avgasset husdyrgjødsel som gjødsel, og kunnskap om bruk av avlingsrester og energivekster (egentlig gras) til biogass i norsk landbruk. Bruk av avlingsrester og energivekster krever visse tilpasninger til anlegget, både ved forbehandling og ved selve reaktorutforming.
- Å få en helhetlig oversikt over effekten av gårdsbaserte biogassanlegg som klimatiltak i norsk landbruk.

Ved UMB og ved Bioforsk på Ås er det sterke fagmiljøer innen anaerob mikrobiologi og med laboratorier tilpasset forskning på metandannende bakterier. Enkelte mindre biogass-reaktorer finnes ved både UMB og ved Bioforsk. Denne kompetansen og dette utstyret er blitt benyttet til å utføre mindre oppgaver for norske biogassanlegg, og den har også blitt benyttet til å utføre flere

utredninger om biogass i Norge. Det er også en god kompetanse ved UMB og Bioforsk på dyrking av energivekster og dyrking av korn og andre vekster på ulike gjødseltyper.

Forutsetningene for å satse på FoU som kan være med å utvikle biogassteknologien tilpasset norske forhold er derfor svært gode. Utviklingen bør samordnes med tilsvarende aktivitet i de andre nordiske landene.

2.3.3 LITTERATUR

- Barth, J. 2006: Status and trends in biological waste treatment in Europe. ORBIT 2006: Biological Waste Management. From Local to Global; Proceedings of the International Conference ORBIT 2006. Weimar, ISBN 3-935974-09-4, pp. 1041 – 1045.
- Beck-Friis, B., Pell, M., Sonesson, U. Jönsson, H., Kirchmann, H. 2000: Formation and emission of N₂O and CH₄ from compost heaps of organic household waste. Environmental Monitoring and Assessment, 62, 317-331.
- Haraldsen, T.K., 2007: Peronlige samtaler. Kunnskap basert på foreløpige resultater fra Bioforsk sitt instituttprogram ”Recycling organic waste – effects on soil quality, plant nutrient supply and environmental impact”.
- Lystad, H., Magnussen, K., Grønlund, A., Netland, J. Vethe, Ø. 2003: Samfunnsøkonomisk nytte ved anvendelse av produkter fra biologisk nedbrytbart avfall i jord. ORIO-rapport, Jordforsk-rapport nr. 4/03.55s.
- Morken, J., Sørby, B., Sørby, I., Birkeland, K., Sakshaug, S. 2005: Bruk av bioenergi i landbruket. Er det lønnsom å bygge gårdsbiogassanlegg, og hvilke fordeler kan bonden og samfunnet oppnå? Rapport fra forprosjekt på Holm gård, Re i Vestfold. Grønn kunnskap, Vol. 9 Nr. 121, Planteforsk.
- Ohr, K., Førland, O. S. Birkenes, V.Ø 2002: Biogass – Energiproduksjon og avfallsbehandling, Asplan Viak, Prosjekt nr. 703012 ORIO-programmet
- Persson, M. 2006: Rammebetingelser for salg av varme, biogass og drivstoff i Norden – eksempler fra Sverige. Foredrag på Avfall Norge sitt møte om biologisk behandling 27-28. september 2006.
- Sørby, I., Briseid, T. Nesheim, L. Vallumrød, V., Lønnum, R 2007: Biogassproduksjon av organisk restprodukt i landbruket – Holm gård i Re – Teknologivalg og kostnadsberegninger”. Rapport Re kommune, 30. mars 2007.
- Wilhelmsen, G., Marthinsen, A.K. , Sandberg, E., Fladset P.O , Kjerschow, E., Teslo, E 2001: Biobrensel – egenskaper og produksjon. I: Bioenergi – Miljø, Teknikk og marked, Energigården, Red. Erik Eid Hohle, ISBN 82-995884-0-5

2.4 BIODRIVSTOFF

2.4.1 DAGENS SITUASJON

Internasjonalt bilde

Vegtransport står for mer enn 30 % av det totale energiforbruket i Europa. Den er 98 % avhengig av fossilt brensel og det er forventet at 90 % av økningen i CO₂ utslippet i Europa mellom 1990 og 2010 vil komme fra transport. (Biofuels Advisory Research Council 2006)). Forbruk til transportformål i Norge var oppe i 60 TWh i 2006 og har aldri vært høyere. Dette kan forklares med at vi reiser mer enten det er i dagliglivet, på ferie eller i jobbsammenheng.

Transportveksten kan sees på som en følge av den generelle velstandsutviklingen. Kjøpekraften er god, og varene vi kjøper må transporteres. Forbruk til transportformål står for en stadig økende andel av vårt energibruk. I 2006 utgjorde det 27 prosent av vårt energiforbruk, mot ca. 23 prosent i 1990. Veitransport veier tyngst, og står for rundt to tredeler av energibruken til transportformål (utenom utenriks sjøfart). I 2006 steg forbruket av autodiesel og bensin til veitrafikk med vel 3 prosent fra året før. Dette til tross for at gjennomsnittsforkbruket per bil går gradvis nedover ettersom nyere biler er mer energieffektive. Forbruk til luft- og kysttransport økte med henholdsvis 12 og 8 prosent (SSB 2007).

Stern-rapporten understreket behovet for snarlige og kostnadseffektive tiltak i alle sektorer i den globale økonomien, men beskrev også transportsektoren som en av de mest kostnadskrevede sektorer for reduserte utslipp fordi lavutslippsteknologiene er dyre og velferdsomkostningene ved redusert forbruk er høye. Transport er også forventet å være en av sektorene med høyest vekst i fremtiden. Transportsektoren vil derfor bli en av de siste sektorer som vil få utslippene ned på under dagens nivå (Anon 2006).

Biodrivstoff har fått stor oppmerksomhet de siste årene. Behov for økt forsyningssikkerhet av energi, å stanse nedgangen i jordbruksaktiviteten i landbruksområder og å redusere klimagassutslipp har vært drivere i denne utviklingen og gitt et sterkt fokus på produksjon av biodrivstoff både i industri- og utviklingsland. Brasil og USA er dominerende i produksjon av etanol, mens EU dominerer biodieselproduksjonen. Økt etterspørsel etter biodrivstoff har gitt økt konkurranse med tradisjonelt jord- og skogbruk om arealene, og problemer knyttet til matsikkerhet og biologisk mangfold har blitt synliggjort. Etterspørselen etter biodrivstoff kommer hovedsakelig fra de industrialiserte landene, som hittil har produsert det aller meste selv. Produksjon av biodrivstoff i utviklingslandene forsterker problemstillingene i forhold til fordeling og internasjonal handel.

Det finnes to hovedtyper biodrivstoff: biodiesel som utvinnes fra oljer (for eksempel rapsolje og palmeolje) og bioetanol som utvinnes av sukker i plantemasse. Såkalt førstegenerasjons bioetanol utvinnes hovedsakelig fra mais og sukkerrør, hvor lett tilgjengelig sukker fermenteres til etanol. Førstegenerasjons biodiesel kan utvinnes fra alle typer biologiske oljer (dyr, planter). Denne oljen kombineres med metanol i en kjemisk reaksjon hvor produktet er metylester. En av de største ulempene med førstegenerasjons biodrivstoff er at det konkurrerer direkte med matproduksjon (råstoffet kan i utgangspunktet også brukes til mat/fôr, og dyrkes på de samme arealene). Brasil (17 milliarder liter bioetanol fra sukkerrør) og USA (18 milliarder liter bioetanol fra mais) produserer til sammen 70 % av verdens biodrivstoff. I 2005 ble det totalt produsert 45 milliarder liter bioetanol og 4 milliarder liter biodiesel. Bioetanol vil være det dominerende biodrivstoffet i den nærmeste framtid (Mabee, 2006), og vil trolig også stå for mesteparten økningen i bruk av biodrivstoff på verdensbasis, fordi produksjonskostnadene er forventet å falle raskere for bioetanol enn for biodiesel. Tyskland er det desidert viktigste produsentlandet av biodiesel, fulgt av Frankrike og Italia. Til sammen sto EU-landene for 87 prosent av produksjonen i 2005. Nivået på produksjon av biodiesel er bare ca. 1/10 av nivået på verdens etanolproduksjon.

Det er stor enighet verden over at man bør øke etanolproduksjonen fordi dette er per i dag det eneste og beste alternativ for å erstatte fossile drivstoffer. Det er også enighet om at dette helst bør skje ved å produsere andregenerasjons bioetanol. Andregenerasjons biodrivstoff er basert på biomasse som ikke brukes til mat og som i utgangspunkt kan produseres over hele kloden, det vil si lignocellulose fra for eksempel trær, halm, gress og alle typer jord- og skogbruksavfall. I prinsippet kan både bioetanol og biodiesel (syntetisk diesel via Fischer-Tropsch prosessen) produseres fra dette råmaterialet, men det er utviklingen av andregenerasjons bioetanol som har kommet lengst. Per i dag finnes det ingen kommersiell produksjon av andregenerasjons

biodrivstoff, men flere demonstrasjonsanlegg er i bruk. Danskene bygger nå et anlegg på Bornholm som skal produsere 10 millioner liter bioetanol fra 40 000 tonn halm og flere lignende initiativ er i gang.

Andre generasjons bioetanol

Alle typer planter og trær inneholder tre hovedkomponenter: Cellulose (homopolymer av glukose), hemicellulose (heteropolymer av ulike sukker, ofte 5-karbon sukker) og lignin. Sukker kan utvinnes av de to første, mens lignin kan brukes til å lage varme eller kjemikalier. Produksjon av bioetanol fra lignocellulose deles i fire hovedtrinn: Forbehandling, hydrolyse, fermentering og destillasjon (Hamelinck, 2005):

1. Forbehandling

Cellulosen er den viktigste kilden til sukker i planter og trær, men den er ikke lett tilgjengelig og er delvis omsluttet av et lignin og hemicellulosekompleks. Hensikten med forbehandlingen er å gjøre cellulosen tilgjengelig for hydrolyse. Dette omfatter reduksjon av partikkelstørrelsen, fjerning av lignin, hydrolyse av hemicellulose og oppbrytning av cellulosenes krystallinske struktur. I forbehandlingen brukes kjemiske (f. eks. syre og base) og fysiske metoder, eller kombinasjoner av disse. En av de mest lovende metodene for forbehandling er dampeksplasjon, hvor biomassen utsettes for høyt damptrykk (20-50 bar) i noen minutter for så å redusere trykket momentant (eksplosjon) (Ramos 2003). Det finnes indikasjoner på at naturen har utviklet enzymer eller andre (hjelp)proteiner som også kan anvendes til å øke cellulosenes tilgjengelighet.

2. Hydrolyse

Cellulosen hydrolyseres etter forbehandlingen til glukose vha av svak syre, sterk syre eller enzymer (cellulaser). Mens syreprosessen foregår under harde korrosive betingelser som krever dyrt utstyr, foregår enzymatiske prosesser ved milde betingelser (50-60 °C, forholdsvis nøytral pH). En av utfordringene ved enzymatiske prosesser er enzymerens kostnad.

3. Fermentering

Den frigjorte glukosen fermenteres til etanol vha mikroorganismer. Det teoretiske maksimum er 0.51 kg etanol/kg glukose. 5-karbon sukker (som xylose) fra hemicellulosen er vanskeligere å fermentere til etanol, men det finnes spesielle mikroorganismer som kan gjøre dette og vi vil se forbedringer her i de nærmeste årene. Røffe betingelser oppstrøms i forbehandling og hydrolyse danner en del forbindelser som kan virke inhiberende på fermenteringen (furfural, HMF). Det er også mulig å kjøre enzymatisk hydrolyse og fermentering samtidig i samme tank.

4. Destillasjon

Det er praktisk vanskelig å prosessere strømmer med et høyere tørrstoff enn 15 %, noe som tilsvarer rundt 5 % etanol (2/3 sukker, 50 % utbytte). Teknologien for destillasjon av slike strømmer er velprøvd. Allikevel finnes det utfordringer her mht å utvikle nye typer teknologi som er mer energieffektive og som samtidig egner seg til de enorme volumene det er snakk om. Membranteknologi er et viktig tema her.

Andre generasjons biodiesel

Andre generasjons biodiesel kan også produseres fra trevirke. Produktet kalles syntetisk biodiesel eller biomass-to-liquid – BtL diesel. Trevirket tørkes først og forbehandles før det varmes opp med begrenset tilgang på luft/oksygen. Da dannes det såkalt syntesegass, som i hovedsak er en blanding av hydrogen (H₂) og karbonmonoksid (CO). Syntesegassen renses og kan deretter brukes til produksjon av drivstoff eller kjemikalier. Den vanligste konverteringsveien fra syntesegass til drivstoff kalles Fischer-Tropsch prosess og går ut på å føre gassen over en katalysator. I praksis er dette ofte en pelletaktig masse som inneholder blant annet kobolt eller jern, hvor syntesegassen omdannes til en rekke forskjellige hydrokarboner. Fraksjoner med kokepunkt 180-380 °C kan destilleres fra blandingen. Denne fraksjonen kalles syntetisk biodiesel

og har svært høy kvalitet. Syntetisk biodiesel kan brukes direkte i dagens dieselmotorer uten tilpasning i motor eller drivstoffsystem (Anon 2007).

Status i Norge

Norge er i dag i startgropa når det gjelder biodrivstoff. I noen år har biodiesel basert på fiskeavfall dominert, men nå etableres en betydelig produksjon av biodiesel, hovedsakelig basert på importert rapsolje (fra raps dyrket på matjord). Forbruket av biodrivstoff har foreløpig vært svært begrenset, men lavinnblandet biodiesel blir nå fasett inn av flere oljeselskap. Norge har i dag relativt lite overskudd av jordbruksareal. Det er derfor først og fremst skog som vil kunne bli et viktig råstoff for biodrivstoff. I tillegg finnes det en del avfallsfraksjoner fra jordbruket og en del våtorganisk avfall og deponigass som det kan være økonomisk interessant å utnytte.

Veikart for biodrivstoff (Anon 2007) gir en oversikt over produksjon av biodrivstoff i Norge. Estra as i Trøndelag er Norges største produsent av biodiesel. BV Energi as i Sætre på Hurum produserer biodiesel basert på importert rapsolje. Andre aktører i det norske biodrivstoffmarkedet med planlagt produksjon er Oleon, Uniol, Biodrivstoff as, Milevenn as, FREVAR, Borregaard Industrier, Norske Skog, Norsk Hydro, Wyeland as m.fl. Det er pt 15-20 utsalgssteder for rent eller høyinnblandet biodrivstoff i Norge, men antallet er raskt stigende.

Beregninger viser at det i dag er teknisk/økonomisk mulig å ta ut 35-45 TWh i året til bioenergiformål, inkludert dagens produksjon på ca 16 TWh brutto. Hva som kan være et realistisk forbruk av bioenergi i framtida vil være avhengig av faktorer som pris og lønnsomhet, alternative energipriser, politiske virkemidler, og hva som hender i verden for øvrig med hensyn til energiforsyning og energibruk. Et sannsynlig scenario er at om lag halvparten av en økt bioenergiproduksjon på 25 TWh vil gå til oppvarming. Det betyr at 12-13 TWh kan gå til produksjon av biodrivstoff. Men en energieffektivitet i produksjonen på opp mot 50 % på sikt, vil energiinnholdet i biodrivstoff basert på norsk biomasse være ca 6 TWh, noe som tilsvarer ca 30 % av energiforbruket til landstransport i 2006.

2.4.2 UTFORDRINGER

Økonomi

Potensialet for produksjon av biodrivstoff i større omfang og basert på norskprodusert biomasse er knyttet til andregenerasjons teknologi, det vil si fra lignocellulose. Med dagens drivstoffpriser og teknologi, er slik produksjon ikke lønnsom. En energieffektivitet på 45 – 46 % i drivstoffproduksjonen er mulig med dagens teknologi (Fisher-Tropsch eller etanol fra trevirke), mens det på sikt forventes en energieffektivitet på ca 10 % høyere inkludert økt utbytte av elektrisitet fra produksjonen (IEA Bioenergy 2007). Høyere produktpriser og/eller lavere produksjonskostnader er derfor nødvendig for økt produksjon av andregenerasjons drivstoff. Dette problemet er aktuelt over hele verden og det gjøres en massiv forskningsinnsats rundt dette.

Tekniske utfordringer

Verden satser først og fremst på bruk av enzymer til å hydrolysere biomassen til fermenterbart sukker. Dette skyldes at enzymteknologi krever mye lavere investeringskostnader og produserer mye mindre avfall. En av de største flaskehalsene er enzymenes effektivitet under industrielle betingelser. Denne effektiviteten er avhengig av en del enzymparametre (katalytisk aktivitet,

stabilitet) og, først og fremst, av tilgjengelighet til cellulosen. Tilgjengeligheten avgjøres av type råstoff, hvor effektiv forbehandlingen er, og hvor effektive enzymene er til å binde til og holde fast på individuelle sukkerkjeder. Forbehandling og enzymatisk hydrolyse må altså ses i sammenheng.

En annen utfordring er å finne, eller genetisk modifisere, mikroorganismer som er robuste og som tåler forbindelser som furfural og HMF, og som også kan fermentere 5-karbon sukker. Med andre ord: leting etter og utvikling av robuste mikroorganismer som gir maksimal etanolutbytte er et stort og viktig område.

En siste viktige utfordring er utvikling av (helt) ny teknologi som gjør at (1) hele råstoffet utnyttes optimalt, og at (2) det man får ut av råstoffet kan brukes til "alt" som oljen brukes til i dag (altså mye mer enn energi). Det må altså utvikles et helt nytt sett med raffineringsprosesser skal vi virkelig klare å flytte oljebasert produksjon til biomassebasert produksjon. Her er det mye kjemisk teknologi som må utvikles. Det finnes flere i feltet som mener at de som vil tjene penger på bioenergi er de bedriftene som klarer å gjøre mer enn å kun produsere energi.

Miljø- og klima

Globalt sett er hovedutfordringene knyttet til bruk av biomasse generelt, og biodrivstoff spesielt (IEA Bioenergy 2007):

- Konkurransen om vannressurser
- Bruk av kunstgjødsel og sprøytemidler
- Arealbruk. Mer intens jordbruk for å produsere energivekster i stor skala kan føre til tap av biodiversitet.
- Konkurransen med mat- og fôrproduksjon. Økt produksjon av biomasse til drivstoffproduksjon kan føre til økte priser på mat og jordbruksarealer.

I de aller fleste tilfeller oppnås det en reduksjon i utslippene av klimagasser ved overgang fra bensin og diesel til henholdsvis etanol og biodiesel. Størrelsen på utslippsreduksjonen varierer imidlertid betydelig, avhengig av blant annet produksjonsteknologi, råvare m.v. Når en betrakter hele syklusen fra produksjon av råvaren til forbruk ("from Well to Wheels") varierer utslippsreduksjonen fra 15-20 prosent for etanol basert på hvete eller mais i EU og USA, til rundt 90 % reduksjon for etanol basert på sukkerrør i Brasil. Utslippsreduksjonene for biodiesel ligger omtrent midt mellom disse. Andre generasjons produksjonsprosesser vil kunne gi utslippsreduksjoner opp mot 100 prosent og over. Dette forventes å bli svært effektive anlegg som bl.a. vil kunne produsere kraft og varme som biprodukt som kan erstatte fossil energi og dermed komme opp i over 100 % utslippsreduksjon (ECON 2007).

2.4.3 FoU-BEHOV

Det er i dag stor internasjonal forskningsaktivitet knyttet til mange problemstillinger rundt produksjon av biodrivstoff. FoU ressursene går i stor grad til utvikling av mer energieffektive produksjonsprosesser og mye av dette fokuserer på andre generasjons drivstoff. Videre forskes det på energiregnskap og klimagasseffekter av ulike produksjonsprosesser og råstoff, effekter for biodiversitet, arealbruk og matvaresikkerhet. Forskningsaktiviteten i Norge er svært begrenset på dette området på grunn av svært liten tilgang på forskningsmidler. Men både ved SINTEF/PFI og UMB arbeides det med teknologisk utvikling av andre generasjons biodrivstoff. Ved UMB er

aktiviteten knyttet til arbeidet med å finne, karakterisere, forbedre og anvende enzymer og hjelpeproteiner for å forbehandle og bryte ned biomasse. Dette går fra å finne optimale måter å anvende kommersielle enzymer på (altså implementering av teknologiske framskritt gjort av andre) til utvikling av egen, ny teknologi. Ved SINTEF/PFI arbeides det primært med prosessutvikling, med en viss fokus på utvikling av bedre stammer for fermenteringsprosesser, samt videre ”downstream” teknologi.

Utvikling av biodrivstoff innebærer mange og omfattende problemstillinger med tunge FoU-behov. Det er viktig at Norge velger aktuelle FoU-områder med utgangspunkt i eksisterende kompetanse. Det bør satses primært på bioetanol, og følgende FoU-oppgaver vurderes som aktuelle for norsk satsing:

1. Enzymatisk nedbrytning av lignocellulose

Dette er rett fram anvendt forskning hvor minimumsmålet bør være å ha tilstrekkelig med kompetanse for å kunne vurdere og å ta i mot den teknologien for annen generasjons bioetanol som utvikles i verden. Det er altså snakk om prosessutvikling med teknologi som utvikles av andre. Hvis denne teknologien utvikles og testes i nært samarbeid med norske råstoffleverandører kan særnoske problemstillinger løses. Optimal enzymteknologi vil variere sterkt mellom forskjellige råstofftyper.

2. Karbohydratnedbrytende moduler for biomassenedbrytning

UMB er sterkt involvert i forskning rettet mot å finne og utvikle hjelpeproteiner som kan gjøre enzymatisk nedbrytning av lignocellulose mer effektiv. Hjelpeproteiner virker sammen med enzymene i at de gjør substratet (cellulose) mer tilgjengelige. Her har UMB en unik kompetanse (både i Norge og i verden) som delvis er patentbeskyttet. Resultatene av denne forskningen er usikre, men med potensial til å gjøre noe vesentlig nytt. Denne forskningen nyter stor interesse fra internasjonale enzymprodusenter.

3. Hvitråtesoppens enzymologi i nedbrytning av tre (bioprospektering mm)

Målet er å kombinere forskning på trenedbrytende sopp (skogspatogener) for å (1) få fram nye enzymer og hjelpeproteiner til nedbrytning av biomasse, spesielt lignocellulose og (2) lære mer om soppinfeksjoner i trær med henblikk på sykdomsbekjempelse. Ås campus ser store synergieffekter mellom en satsing på utvikling av enzymteknologi på den ene side (ved UMB) og Skog og Landskaps satsing på sykdomsbekjempelse i skog.

4. Utvikling av bioraffinerier

Utnyttelse av hele råstoffet til ”alt” olje brukes til. Effektiv utnyttelse av hele biomassen i industriprosessen, både til energi og materialer, er en grunntanke i bioraffineri-konseptet. Her ligger det store utfordringer og muligheter. Borregaard er den norske aktøren med størst kompetanse på dette området. Her er det behov for toppkompetanse innen kjemi som man finner flere steder i Norge, blant annet ved NTNU og UMB.

5. Utvikling av andre generasjons biodrivstoff – effekter for biomassemarkedet

Innenfor miljø og marked er det viktig at det forskes på områder som gir kompetanse om hvordan Norge skal forholde seg til økt produksjon og internasjonal handel med biodrivstoff. Kunnskap om hvordan den teknologiske utviklingen innen biodrivstoff vil påvirke markedet for bioenergi generelt, handel og produksjonen i skogsektoren vil være viktig fremover. Aktuelle problemstillinger er utviklingsscenarier for produksjonskapasitet og energieffektivitet, potensialet for produksjon i Norge, optimal lokalisering, effekter for skogsektoren og for produksjon av varme og el basert på biomasse.

6. Fermenteringsteknologi

For å lage etanol fra sukker anvendes ulike mikroorganismer (gjær, bakterier) som fermenterer sukker til etanol under anaerobe betingelser. C6 sukkerer som glukose fermenteres greit til etanol, mens C5 sukkerer som xylose er mye vanskeligere å fermentere. Det letes derfor i naturen etter mikroorganismer som kan fermentere både C5 og C6 sukkerer. I tillegg jobber man med viderutvikling av eksisterende mikroorganismer med hjelp av klassisk eller rekombinant genetisk teknologi. Det knytter seg også viktig

forskningsoppgaver til selve fermenteringen og videre downstream prosessering (destillasjon og/eller filtrering av etanol), blant annet fordi volumene er enorme og fordi energieffektiviteten bør optimaliseres. Dette er viktige områder innen biodrivstoffproduksjon hvor det er naturlig at Trondheimsmiljøene spiller en ledende rolle.

2.4.3 LITTERATUR

- Anon 2006: The Stern Review of the Economics of Climate Change, 2006. http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm.
- Anon 2007: Fra biomasse til biodrivstoff. Et veikart til Norges fremtidige løsninger.
- Biofuels Advisory Research Council 2006: Biofuels in the European Union. A vision for 2030 and beyond.
- ECON 2007: Biodrivstoff – status og utsikter. Rapport 2007 – 069.
- Hamelinck C.N et al, 2005: Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term. *Biomass and Bioenergy*, 28 (4): 384-410
- IEA Bioenergy 2007: Potential Contribution of Bioenergy to the World's Future Energy Demand. IEA Bioenergy: ExCO: 2007:02
- Mabee W.E. et al, 2006: Updates on softwood-to-ethanol process development. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 129 (1): 55-70.
- Ramos L.P., 2003: The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials. *QUIMICA NOVA*, 26 (6): 863-871.
- Horn, S.J. Sikorski, P. Cederkvist, J.B. Vaaje-Kolstad, G. Sørli, M. Synstad, B. Vriend, G. Vårum, K.M. Eijsink, V.G.H. 2006: Enzymatic degradation of recalcitrant polysaccharides: costs and benefits of processivity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103(2006) 18089-18094.
- SSB 2007. Energiregnskap og energibalanse 2006. <http://www.ssb.no/emner/01/03/10/energiregn/>
- Vaaje-Kolstad, G., Horn, S.J, van Aalten, D. M. F., Synstad, B., Eijsink, V.G.H. 2005: The non-catalytic chitin-binding protein CBP21 from *Serratia marcescens* is essential for chitin degradation. *Journal of Biological Chemistry*, 2005. 280(31): p. 28492-28497.
- Eijsink, V. G. H Vaaje-Kolstad, G, Vårum, K.M Horn, S.J 2007: From chitin to biofuels – degrading recalcitrant polysaccharides; *Trends in Biotechnology*, 2007, submitted for publication.

3. KLIMAGASSER I LANDBRUKET

Vi har valgt å dele landbruket inn i planteproduksjon (åkerbruk), husdyrproduksjon og skogbruk (virkesproduksjon i skog) fordi disse områdene har substansielt ulike utfordringer vedrørende klimagasser. I henhold til mandatet for utredningen er avfall behandlet som en egen del.

3.1 PLANTEPRODUKSJON

3.1.1 DAGENS SITUASJON

Norsk planteproduksjon medfører betydelige klimagassutslipp, både direkte gjennom produksjon av N₂O relatert til selve produksjonen, som resultat av gjødselbruk, arealbruksendringer og avrenning, og indirekte gjennom utslipp av CH₄ i produksjon av husdyrgjødsel og CO₂ utslipp fra bruk av maskiner. En detaljert status for klimagassregnskap fra landbrukssektoren går fram av Tabell 5.

Tabell 5. Offisielle tall for utslipp av klimagasser fra planteproduksjon og husdyrbruk i Norge. Kilde: Resultatkontroll jordbruk 2006, SSB.

	Tonn			CO ₂ -ekvivalenter 1000 tonn			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Sum
Handelsgjødsel			2 044	0	0	634	634
Husdyr og husdyrgjødsel		105 052	1 849	0	2 206	573	2 779
Biologisk nitrogenfiksering			157	0	0	49	49
Restavlinger			305	0	0	95	95
Dyrking av myr			1 069	0	0	331	331
Nedfall av NH ₃			249	0	0	77	77
Avrenning			1 073	0	0	333	333
Avløpsslam			23	0	0	7,1	7
Halmbrenning		264	5	0	6	1,6	7
Fossilt brennstoff*	406 963	38	121	407	0,8	38	445
Sum offisielle utslipp	406 963	105 354	6 895	407	2 212	2 137	4 757

* Hovedsakelig bruk av fossilt brennstoff til maskiner.

Ifølge Tabell 5 er landbrukets utslipp ca 4,7 millioner CO₂-ekvivalenter som utgjør ca 9 % av de totale utslippene i Norge (se også Figur 2). Utslipp av CO₂ og N₂O fra produksjon av handelsgjødsel defineres som utslipp fra industri og inngår ikke i utslippene fra jordbruket. Ifølge Yara er dette utslippet ca 3 kg CO₂ og 0,01 kg N₂O per kg N, til sammen ca 6 kg CO₂-ekvivalenter pr kg N. Utslippene til produksjon av handelsgjødsel som forbrukes i jordbruket i Norge (ca 105 000 tonn N per år) kan beregnes til ca 640 000 tonn CO₂-ekvivalenter. I samsvar med kriterier for internasjonal rapportering er ikke kalking inkludert i regnskapet. Det samme gjelder tap av CO₂ fra dyrket jord som globalt utgjør ca 20 % av de totale menneskeskapt klimagassutslippene. I Norge er dette tapet hovedsakelig knyttet til dyrket myr og åkerdyrking. Bioforsk har estimert det årlige tapet fra dyrket myr til ca 3 tonn CO₂ per dekar og totalt mellom 1,8 og 2,0 millioner tonn CO₂. Riley (personlig meddelelse) har beregnet tapet fra åkerjord på Østlandet til ca 200 kg CO₂ per dekar. Det totale tapet fra åkerdyrking kan anslås til ca 0,5 millioner tonn CO₂ per år. Dersom er regner med tap av karbon fra dyrket jord er landbrukets utslipp ca 7 millioner tonn CO₂ som utgjør ca 13 % av totalutslippene i Norge (Tabell 6).

Tabell 6: Korrigerte tall for utslipp av klimagasser fra jord- og husdyrbruk i Norge.

	Tonn			CO ₂ -ekvivalenter 1000 tonn			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Sum
Offisielle utslipp	406 963	105 354	6 895	407	2 212	2 137	4 757
Utslipp fra							
gjødselproduksjon	315 604		1 052	316		326	642
C-tap fra åkerdyrking	500 000			500			500
C-tap fra dyrket myr	1 900 000			1 900			1 900
Sum totalt	3 122 567	105 354	7 947	3 123	2 212	2 464	7 799

Klimagassutslippene kan fordeles på hovedgrupper av produkter (Tabell 7), og kan kvantifiseres basert på følgende forutsetninger:

- N₂O -utslipp fra handelsgjødsel er proporsjonal med gjødselforbruket.
- N₂O -utslipp fra biologisk N-fiksering er fordelt likt mellom gras og andre vekster (erteplanter).
- N₂O -utslipp fra restavlinger skyldes andre vekster enn gras og korn (f. eks. poteter og grønnsaker).
- Utslipp av CO₂ og N₂O fra kultivering av myr er fordelt proporsjonalt med arealfordelingen av vekster på dyrket myr (som antas å være: 90 % gras, 9 % korn og 1 % andre vekster).
- Utslipp som resultat av nedfall av NH₃, avrenning og forbruk av drivstoff er fordelt proporsjonalt med arealet av vekstgruppene.

Tabell 7: Utslipp av klimagasser fra planteproduksjon og husdyrbruk fordelt på hovedgrupper av produkter.

	Tonn			CO ₂ -ekvivalenter 1000 tonn			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Sum
Gras	2 158 013	24	3 836	2 158	1	1 189	3 348
Korn	839 245	12	1 613	839	0	500	1 339
Andre vekster	125 309	266	649	125	6	201	332
Husdyr	0	105 052	1 849	0	2 206	573	2 779
Sum landbruk	3 122 567	105 354	7 947	3 123	2 212	2 464	7 799

Verdikjeden for råvareleddet omfatter to hoveddeler:

1. Produksjon og transport av inputfaktorer:
 - Handelsgjødsel
 - Drivstoff til transport
 - Pøplantevernmidler
2. Selve primærproduksjonen:
 - Arbeidsoperasjoner: Jordarbeiding, såing, spredning av gjødsel, avløpsslam, kalk, plantevernmidler, høsting.
 - Prosesser i naturen: Denitrifikasjon, biologisk nitrogenfiksering, nedbryting av organisk materiale, nedfall av NH₃ og avrenning

Mesteparten av planteproduktene i norsk jordbruk brukes til fôr på egen gård. Dette omfatter det aller meste av gras og grønnfôrvekstene. Av norsk korn går ca 25 % til direkte konsum og ca 75 % til fôr. En liten del av kornet går til fôr på egen gård.

3.1.2 POTENSIAL FOR UTSLIPPSREDUKSJONER OG ØKT BINDING

Tap av N₂O og CO₂-fra jord står for de største utslippene av klimagasser fra planteproduksjon og representerer derfor også det største potensialet for utslippsreduksjoner. En del tiltak, som en med sikkerhet vet har effekt, kan settes i verk uten ytterligere FoU-aktivitet. Noen av disse tiltakene vil ha effekt på både N₂O- og CO₂-utslippene men vil også kunne ha andre positive eller negative miljøeffekter som oppsummeres i Tabell 8. Tiltak på forbrukersiden (reduisert kjøttkonsum) er i og for seg ikke et tiltak i landbruket, men har utvilsomt virkning på landbruket og dermed på klimagassutslippet (se kapittel 1.2, Terrestriske økosystem som reaktor i klimasystemet).

Tabell 8: Konkrete tiltak for å forbedre klimaregnskapet til norsk jordbruk

Redusert gjødslingsintensitet	Vil gi samme prosentvis reduksjon av N ₂ O emisjon dessuten mindre nitratutvasking.
Endret kosthold til mindre kjøtt og mer vegetabilsk kost, resirkulering på høyt nivå	Vil gi redusert N-input ved gjødsling og N-fiksering og dermed redusert utslipp av N ₂ O og N-utvasking. Dersom dette gjennomføres i form av mindre import av kjøtt og kraftfôr, behøver det ikke føre til redusert grovfordyrking i områder der det ikke kan dyrkes korn. Redusert kjøttproduksjon fra sau og storfe, f. eks. ved mindre intensiv gjødsling av beite og mindre bruk av kraftfôr, vil også føre til redusert metanutslipp fra husdyr og husdyrgjødsel.
Bruk av fangvekster	Vil gi en C-binding 10-20 % av plantemassen, + effekten av redusert nitratavrenning (ca 1 kg/dekar og år) og redusert N ₂ O -emisjon.
Økt grasareal på bekestning av åkerareal	Vil gi økt karbonbinding i jord og i tillegg mindre utvasking av næringsstoffer, mindre erosjon, mindre bruk av plantevernmidler og større biologisk mangfold. Produksjon til konsum kan opprettholdes ved åkerdyrking fortrinnsvis foregår på høyproduktive arealer. Antatt utslippspotensial: 200 – 300 kg CO ₂ /dekar og år
Bare jordarbeiding på våren	Vil øke karbonbindingen gjennom økt fotosyntese utenom vekstsesongen og mindre nedbryting av organisk materiale i jord, og vil dessuten føre til mindre utvasking av næringsstoffer, mindre erosjon og større biologisk mangfold, men vil kunne føre til mer bruk av plantevernmidler. Antatt utslippspotensial: 100 – 200 kg CO ₂ /dekar og år
Unngå nydyrking av myr	Vil føre til at en unngår ytterligere økning av CO ₂ - og N ₂ O -utslipp fra dyrket myr, og på sikt til en reduksjon av disse utslippene, etter hvert som mer og mer av de eksisterende dyrkede myrarealene går over til mineraljord. Men det vil også kunne gi økte utslipp av metan. Antatt utslippspotensial: Ca 3 tonn CO ₂ /dekar og år
Redusert beiting	Vil føre til gjengroing og CO ₂ -binding i biomasse, men kan ha uønskede virkninger på kulturlandskapet

3.1.3 FoU-BEHOV

1. Økt rot-produksjon for C-binding i jord

Nyere studier tyder på at karbon fra planterøtter lagres mer effektivt i jord og har mer enn dobbelt så lang oppholdstid i jord som karbon fra overjordiske plantedeler (Rasse *et al.* 2005). Flere langvarige studier av lang tids tilførsel av halm har vist liten eller ingen effekt på karboninnholdet i jord sammenlignet med fjerning av halm (se f. eks. Clapp *et al.* 2000, Reicosky *et al.* 2002). Det må derfor antas at planteslag som produserer store mengder

underjordisk karbon vil bidra til å øke karbonsekvistreringen i jord. Den spesielle karbonlagringen av rot-karbon kan skyldes tre mulige mekanismer:

1. Høyere konsentrasjoner av tungt nedbrytbare molekyler slik som lignin og suberin
2. Sterkere adsorpsjon av molekyler fra røtter til mineralpartikler i jorda
3. Sterkere fysisk beskyttelse i jord-aggregater av karbon fra fine røtter og rothår

De respektive bidragene fra disse mekanismene er for tiden uklar og det er behov for nærmere undersøkelser. De fysiske beskyttelsesmekanismene tyder på at type rotsystem i seg selv kan ha en betydelig effekt på C-sekvistreringen. Potensialet for å øke C-innholdet i jord gjennom dyrking av åker- og førvekster i rotasjon bør evalueres. Potensialet for rotsystemene for å bidra til karbon gjennom jordprofilen bør bli undersøkt i form av: 1) rot-karbon allokering, 2) kjemisk sammensetning av rotsystemet, 3) mikro- og makrofordeling av røtter, og 4) potensialet for C-eksudering. Denne kunnskapen kan sette oss i stand til å utvikle dyrkingssystemer som har større total klimaeffekt i form av karbonlagring i jord av røtter og bruk av overjordiske plantedeler som bioenergi.

2. Reduksjon av lystgass-utslippet fra jord; presisjonslandbruk

Tiltak for å redusere N₂O emisjon fra jord har hatt lite gjennomslag av tre grunner:

1. Variabilitet: Utslippene er variable i tid og rom, og derfor vanskelig å kvantifisere
2. Mangelfull viten om mekanismer som regulerer N₂O-utslipp
3. Eksisterende modeller er ekstremt empiriske (eller direkte feilaktig formulert) og fanger ikke opp effekter av mulige tiltak mot N₂O-utslipp

Nye effektive metoder for gass-analyser og molekylærbiologisk forståelse og metodikk har imidlertid endret disse forutsetningene. Den pågående IT-revolusjonen i landbruket (Predisjonsjordbruk) har også radikalt utvidet mulighetene for å realisere en bedre kontroll av prosessene i jorden, og dermed N₂O emisjonen.

På bakgrunn av fenotypisk og genotypisk karakterisering av denitrifiserende mikrobefunn og enkeltarter er det mulig å lansere prosjekter som:

- a) utvikler tiltak for å redusere N₂O-utslippene
- b) tester disse på en troverdig måte på flere nivåer:

- på feltnivå ved hyppige fluxmålinger i kontrollerte feltforsøk (TDL eller micro-GC koblet til automatiske prøvetakere)
- i laboratorieskala, ved å måle kinetikk og produkt-støkiometri (N₂, N₂O og NO)
- celle- og gen-nivå, i bakteriesamfunn og enkeltarter

- c) analyserer det mikrobielle grunnlag for tiltakseffektene ved hjelp av molekylærbiologiske metoder

- d) etablerer en bedre empirisk basis for biogeokjemisk modellering av tiltakenes effekt på utslippene.

Et tiltaksrettet prosjekt som integrerer undersøkelser av regulatorisk kontroll fra gen/celle, via mikrobefunn til jord-plantesystemet vil være unikt i internasjonal sammenheng, og tiltakene er ikke begrenset til norske forhold. Realiseringen av tiltakene forutsetter bruk av teknologier som er under utvikling for ”presisjonsjordbruk”.

Hypoteser

A: pH-regulering

1. pH i jord styrer N₂O-utslipp direkte (N₂O reduktase) og indirekte via styring av mikrobefolkningens sammensetning. Vi ser et klart mønster i studiet av regulatorisk biologi hos denitrifiserende bakterier (lav pH gir høyere N₂O/N₂ produkt ratio), og det viser seg også statistisk ved gjennomgang av mer enn 900 publiserte studier av utslipp fra jord (Bowman 2001). Moderat pH-heving vil redusere N₂O-utslippet over tid.
2. Effekter av å heve pH i jord er likevel oversett som effektivt tiltak fordi den umiddelbare effekten av tradisjonell kalking (store doser) ofte viser seg å være økt N₂O-utslipp pga forbigående økt respirasjon og nitrifikasjon ("perturbasjonseffekter").
3. Hyppigere "presisjonskalking" med små doser vil eliminere slike effekter, og dermed gi lavere utslipp. En gradvis heving av pH i jorda ved slike tilførsler vil over få år redusere utslippene betydelig.

B: Jordskader

1. Strukturskader ved jordpakking påvirker N₂O emisjonen, men responsen er ulineær. Effekten er maksimal ved moderat pakking
2. GPS-assistert maskinstyring tillater at pakkeskadene lokaliseres til faste kjørespor, som dermed utsettes for store strukturskader, mens resten av arealet skånes effektivt
3. Dette muliggjør redusert N₂O-utslipp både fra faste kjørespor og fra jorden som skånes

3. Restaurering av dyrket myr

Det internasjonale klimapanelet (IPCC) har foreslått restaurering av dyrket myr som et av de tiltakene med størst potensial for utslippsreduksjon fra landbrukssektoren. Det innebærer heving av grunnvannsnivået, reetablering av myrvegetasjon og tilbakeføring til naturlignende tilstand. Dette tiltaket bør ha spesiell stor interesse da vi har en relativ stor andel dyrket myr i Norge (ca 7 % av totalt dyrket areal). Det er først og fremst aktuelt på areal som vil bli tatt ut av jordbruksproduksjon av andre grunner, (for grunn torv over fjell, problemer med avløp av drens vann på grunn av for lav beliggenhet i forhold elv eller innsjø, tett torvlag med liten bæreevne), men det kan også gjennomføres som et aktivt tiltak for å redusere klimagassutslipp og som et alternativ til kostbare investeringer til fornyelse av dreningen eller profilering. I Norge har vi ingen erfaring i restaurering av dyrket myr. Hovedutfordringen er å oppnå en netto C-binding (vekst av torv) og samtidig begrense CH₄-emisjonen. De mest aktuelle forskningstemaene vil være:

- Faktorer som påvirker metanutslippet: torvtype, grunnvannsnivå, pH, næringsstilstand og vegetasjon
- Faktorer som påvirker karbonlagring og ny vekst av torvlaget: Etablering av myrvegetasjon (sphagnum), effekt av ulike vegetasjonstyper, halmtilførsel for å senke og utjevne jordtemperaturen
- Praktiske utprøvingstiltak, f. eks. blokkering av grøfter

3.1.4 LITTERATUR

- Bakken, L.R. & Dörsch, P. 2007: Nitrous oxide emission and global changes: modelling approaches. In *Biology of the Nitrogen Cycle*, Bothe H, Ferguson SJ, Newton WE (eds). Elsevier (Amsterdam).
- Bouwman, A.F., Boumans, L.J.M., Batjes, N.H. 2002: Emissions of N_2O and NO from fertilized fields: summary of available measurements data. *Global Biogeochemical Cycles* 16:4 (doi:10.1029/2001GB001811)
- Clapp, C. E., Allmaras, R. R., Layese, M. F., Linden, D. R., Dowdy, R. H. 2000: Soil organic carbon and ^{13}C abundance as related to tillage, crop residue, and nitrogen fertilisation under continuous corn management in Minnesota. *Soil Tillage Res.* 55, 127–142.
- Hensen, H., Root, T.T., vander Bulk, W.C.M., Vermeulen, A.T., Olesen, J.E., Schelde, K. 2005: Dairy farm CH_4 and N_2O emissions, from square meter to the full farm scale. *Agric. Ecosyst. Env.* 112:146-152.
- Holtan-Hartwig, L., Dörsch, P., Bakken, L.R. 2000: Comparison of denitrifying communities in organic soils: kinetics of NO_3^- and N_2O reduction. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 833-843.
- Molstad, L., Dörsch, P., Bakken, L.R. 2008: Robotized incubation system for monitoring gases (O_2 , NO , N_2O , N_2) in denitrifying cultures. *Journal of Microbiological Methods* 71:202-211.
- Mørkved, P.T. 2006: Environmental controls of terrestrial N_2O sources. PhD thesis UMB (ISBN 82-575-0725-3)
- Mørkved, P.T., Dörsch, P., Bakken, L.R.. 2007: The nitrification product ratio $N_2O/(NO_3^- + NO_2^-)$ in soil and its dependence on soil pH. *Soil Biology & Biochemistry* 39:2048-2057.
- Reicosky, D. C., Evans, S. D., Cambardella, C. A., Allmaras, R. R., Wilts, A. R., Huggins, D. R. 2002: Continuous corn with mouldboard tillage: Residue and fertility effects on soil carbon. *J. Soil Water Conserv.* 57, 277–284.
- Rasse, D.P., Rumpel, C., Dignac, M.F. 2005: Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. *Plant and Soil*, 269, 341–356.

3.2 HUSDYRPRODUKSJON

”Husdyrproduksjoner” er i denne utredningen begrenset til å omfatte: (i) Mjølkeproduksjon -ku, (ii) Kjøttproduksjon -storfe, (iii) Kjøttproduksjon -sau, (iv) Kjøttproduksjon -svin, (v) Kjøttproduksjon -fjørfe og (vi) Eggproduksjon. Vi har lagt spesiell vekt på mjølk- og kjøttproduksjon på storfe da disse produksjonene spiller en dominerende rolle i norsk husdyrhold, og er av størst betydning for klimagassutslipp fra husdyrbruket.

Klimagasser fra husdyrproduksjonene er først og fremst karbondioksid (CO_2), metan (CH_4) og lystgass (N_2O). I det videre har vi fokusert på CH_4 fra drøvtyggerne. Det vil si at CO_2 -produksjon knyttet indirekte til husdyrproduksjonene er holdt utenfor. Eksempler her er CO_2 relatert til framstilling av kraftfôr, bygninger, maskiner og utstyr, transport og oppvarming av husdyrrom. Husdyra produserer ikke N_2O , men nitrogen som de skiller ut i gjødsel og urin er en viktig kilde for lystgass. Derfor legger vi vekt på relevante sider knyttet til utnyttelsen av nitrogen i husdyrproduksjonene.

Vi har, ved hjelp av eksempler, anskueliggjort potensialet for reduserte utslipp av metan og nitrogen fra mjølk- og kjøttproduksjonen og formulert viktige FoU behov for å kunne oppnå reduksjoner i utslippet av klimagasser fra primærproduksjonene. Vi har valgt å utelate beskrivelse

og vurdering av klimagassregnskapet knyttet til foredling, transport og distribusjon av husdyrprodukter.

3.2.1 DAGENS SITUASJON

Status for klimagassregnskapet fra husdyrproduksjonen

Omkring 9 % av utslippet av drivhusgassene målt som CO₂-ekvivalenter i Norge skrives seg fra landbruket (Tabell 9). Landbrukssektoren er den viktigste kilden til utslipp av metan og lystgass, med henholdsvis 48 og 46 % av landets samlede utslipp av disse klimagassene.

Tabell 9: Utslipp av klimagasser (CO₂, CH₄, N₂O) og ammoniakk i Norge, fra husdyrhold og fra landbruket totalt i 2005. Husdyrhold inkluderer både husdyr og husdyrgjødsel. Totalmengder er gitt i 1000 tonn (Statistisk sentralbyrå 2007*).

Klimagass	Landet total	Landbruk		Husdyrhold	
		Total	% av landet	Total	% av landbruket
Karbondioksid (CO ₂)	43100	500	1,2	-	-
Metan (CH ₄)	219	106,3	48,5	106,0	100
Lystgass (N ₂ O)	15,4	7,0	45,5	1,9	28
CO ₂ -ekvivalenter	54200	4900	9,0	-	-
Ammoniakk (NH ₃)	23,0	20,3	88,3	18,2	89,7

*Kilde: <http://www.ssb.no/emner/01/04/10/klimagassn/tab-2007-05-11-03.html>
<http://www.ssb.no/emner/01/04/10/klimagassn/tab-2007-05-11-05.html>

Husdyrholdet står for alt utslipp av metan, og nitrogen tilført jorda fra husdyrgjødsel bidrar med nær 30 % av det totale utslippet av lystgass fra landbrukssektoren. Metan og lystgass er potente drivhusgasser, henholdsvis 23 og 296 ganger sterkere enn CO₂ på vektbasis (IPCC 2001). Derfor blir disse faktorene brukt ved omregning til CO₂-ekvivalenter. Klimagassutslippene fra husdyrproduksjonene er derfor viktig i det nasjonale klimagassregnskapet. Selve husdyrholdet gir ingen netto utslipp av CO₂. Derimot er det indirekte knyttet mange tekniske prosesser til husdyrproduksjonene som forbrenner fossilt materiale, og dermed medfører utslipp av CO₂. Disse CO₂ utslippene er belastet andre samfunnssektorer i det nasjonale klimagassregnskapet.

Metanproduksjonen hos drøvtyggere og utskillelsen av N i gjødsla hos alle dyreslag har nær sammenheng med fôrgrunnlaget. Om klimagassene er produsert på grunnlag av norskprodusert eller importert fôr er også viktig i diskusjonen om tiltak for å redusere utslippene. Det er derfor naturlig at det blir gitt en kort oversikt over fôrgrunnlaget i husdyrproduksjonene før vi diskuterer utnytting og tap av energi, CH₄ og nitrogen.

I modellen fra IPCC inngår følgende utslipp av drivhusgasser fra husdyrproduksjonen:

Metan:

- Fordøyelse i husdyr
- Husdyrgjødselhandtering

Lystgass:

- Nedbryting av husdyrgjødsel
- Ammoniakk tap fra husdyrgjødsel
- Tap fra beite
- Produksjon av lystgass fra eroderte arealer

Metan

Utslippene fra fordøyelse vil bli ført ut gjennom ventilasjonsviftene. I tillegg til dette utslippet har Sommer *et al.* (2004) funnet at gjødsel som ligger i fjøset også vil bidra til utslippet. Størrelsen på utslippet er først og fremst korrelert til temperaturen på gjødsla og mengdene. Rask nedkjøling av gjødsla og korte tidsintervaller mellom kjøring av gjødselskraper reduserer utslippene.

Det er kjent at anaerob lagring av gjødsel vil føre til dannelse av metan. Temperatur og graden av nedbryting av det organiske materialet er hoveddrivere for omfanget på utslippet. Eksempelvis vil grisejødsel, som er mindre nedbrutt enn storfejødsel, produsere mer biogass enn det storfejødsel gjør. Flere har dessuten påvist sammenhengen mellom temperatur og metanproduksjon. Denne vil øke med 30 – 50 % ved en økning fra 10 til 20 grader (Hilhorst *et al.* 2001).

Flere forskere har også pekt på at flytedekke på lagre med storfejødsel kan oksidere metan, og dermed redusere utslippene. Man kan forevente at flytedekke vil kunne gi inntil 10 % reduksjon..

Lystgass

Resultatene av en beregning foretatt av Mørken (2003) gjort på grunnlag av aktivitetstall og emisjonsfaktorer fra IPCC. Beregningene viste at de største kildene for lystgassutslipp var fra beitearealer og denitrifikasjon av gjødsel. Beregningene viste dessuten at utslipp fra storfe var dominerende både for metan- og lystgassutslipp.

Resultater fra bl.a. dansk forskning (Sommer *et al.* 2004) viser at anaerob behandling av gjødsel føre til at utslippene fra jorda reduseres med ca. 50 %, dette skyldes at bioresten etter behandlingen er mer stabil med et redusert forbruk av oksygen i jordsmonnet som resultat.

I tillegg har nyere forskning vist at flytedekke kan gi noe lystgassproduksjon dersom betingelsene er anoksiske (Berg *et al.* 2006).

Fôrgrunnet i de ulike husdyrproduksjoner

I Tabell 10 er gjengitt et intervall for gjennomsnittlig fôrsammensetning og andel av importert kraftfôr i ulike husdyrproduksjoner. Det er stor forskjell i fôrgrunnet hos drøvtyggere og enmagede dyr. Drøvtyggerene er unike fordi de har evnen til å foredle plantemateriale som er verdiløst for enmagede dyr og mennesker, til høgverdige matvarer i form av mjølk og kjøtt. Størstedelen av Norges jordbruksarealer er eng og beite og en har derfor hatt en målsetning om å maksimere opptaket og utnyttelsen av grovfôr i drøvtyggerproduksjonene. Kraftfôrets andel av totalrasjonen på energibasis varierer fra 5-10 % hos sau til 35-40 % i mjølkeproduksjonen på ku og geit. Kraftfôret i drøvtyggerproduksjonene består i hovedsak av norskproduserte karbohydatkraftfôr (bygg og havre). Det importerte kraftfôret er vesentlig proteinfôrmidler som soya og raps, men også noe karbohydatfôr importeres i dårlige vekstår. Andelen av importert kraftfôr varierer mellom produksjonene, og utgjør normalt 1-2 % i kjøttproduksjonen på sau og storfe til 10-15 % i mjølkeproduksjon av totalfôret på energibasis.

Tabell 10: Fôrgrunnlaget og andelen importert kraftfôr i ulike husdyrproduksjoner. Alle tall er % (rådata fra ulike kilder)

Produksjon	Fôrgrunnlaget på energibasis		Importert kraftfôr	
	Grovfôr	Kraftfôr	På vekt basis	Av totalrasjonen på energibasis
Mjølke (ku og geit)	60-65	35-40	25-30	10-15
Kjøtt				
- Storfe	75-85	15-25	15-20	2-5
- Sau	90-95	5-10	15-20	1-2
- Gris	0	100	15	15
- Slaktekylling	0	100	40-50	40-50
Eggproduksjon	0	100	25	25

Fôrgrunnlaget til enmagete dyr er i all hovedsak kraftfôr. Kraftfôrblendingene i disse produksjonene består også hovedsakelig av norskprodusert bygg og havre. Importert kraftfôr utgjør i størrelsesorden bare 15 % på energibasis i svinekjøttproduksjonen, men hele 40-50 % på energibasis i produksjonen av slaktekylling.

Utnytting og tap av energi og nitrogen samt tap av metan i de ulike busdyrproduksjoner

Av energien og næringsstoffene i fôret vil en varierende del avleires i nyttbare produkter som kjøtt og mjølk. Resten tapes i gjødsel, urin, metan og varme.

Hos drøvtyggerne skjer en del av energitapet i form av metan, som blir produsert under den mikrobielle fordøyelsen av strukturelle karbohydrater (fiber) i vom og baktarm. Metantapet utgjør i størrelsesorden 5-10 % av bruttoenergi i fôret. Hos enmagete dyr er metanproduksjonen ubetydelig (0 – 1 % av bruttoenergien).

Nitrogenomsetningen hos drøvtyggere og enmagete dyr er svært forskjellig. Hos drøvtyggere blir normalt størstedelen av fôrprotein nedbrutt av mikroorganismene i vomma og deretter bygget opp igjen til mikrobeprotein som utgjør det meste av aminosyreforsyninga til dyret. En ubalanse mellom protein og energi til mikrobevekst vil føre til et tap av N i urin.

Fôrprotein hos enmaga dyr blir fordøyd i mage og tarm og deretter absorbert som aminosyrer i tarmen. Hos enmaga dyr er derfor behovet for protein i fôret helt avhengig av proteinkvaliteten dvs. aminosyresammensetningen. En ugunstig sammensetning vil gi økt utslipp av N fra urin.

I Tabell 11 er gitt verdier for totalutnytting og tap av energi som metan og tap av nitrogen i gjødsel og urin i de ulike husdyrproduksjoner. Totalutnytting av energi og nitrogen er definert som mengde gjenfunnet i produktene i forhold til bruttoinnhold i fôret.

Totalutnytting av energi og protein er høyere hos enmagete dyr enn hos drøvtyggere. Hovedårsaken er at grovfôret, som er hovedfôret til drøvtyggerne, har lågere fordøyelighet enn kraftfôr.

Tabell 11: Totalutnytting av energi og protein og tap av energi som metan og tap av nitrogen (N) i gjødsel og urin i ulike husdyrproduksjoner. Metantap er relatert til opptatt bruttoenergi i fôr, mens nitrogentap er relatert til opptatt nitrogen i fôr.

Produksjon	Totalutnytting, %		Metan	Tap, %	
	Energi	Protein		Nitrogen	
				Gjødsel	Urin
Mjølkeproduksjon ¹	18	23	8	32	40
Kjøttproduksjon					
- Storfe (okse) ²	10	19	8	30	50
- Gris ³	32	35	0-1	65	
- Slaktekylling ⁴	43	65	0	35	
Eggproduksjon ⁵	35	40	0	60	

¹ Årsavdrått 6000 kg/ku inkludert tørtperioden, ² Slaktealder 18 mndr (290 kg), ³ Slaktevekt (80 kg),

⁴ Slaktevekt 1 kg, ⁵ Verpeperioden

3.2.2 POTENSIAL FOR UTSLIPPSREDUKSJONER I HUSDYRPRODUKSJONENE

Det finnes både direkte og indirekte tiltak for å redusere utslipp av metan og nitrogen i primærproduksjonene.

1. Direkte: Tiltak som påvirker omsetningen av næringsstoffer i dyret
2. Indirekte: Tiltak som påvirker produksjonsintensiteten

Direkte tiltak – Metan

I vomma er det anaerobt miljø. Det betyr at næringsstoffer ikke kan oksideres til CO₂ og vatn. Det oppstår et overskudd av H-ioner. Produksjonen av metan er en måte å kvitte seg med H-ioner på. Metanproduksjonen er knyttet til bestemte bakteriegrupper (metanogene bakterier). Bakterier som bryter ned grovfôr (cellulolytiske bakterier) produserer H₂ som er energisubstrat for de metanogene bakteriene. Grovfôr øker derfor produksjonen av metan. Bakteriene som omsetter kraftfôr (amylolytiske bakterier) forbruker derimot H₂ ved produksjon av propionsyrer, og bidrar derfor til å redusere produksjonen av metan.

De viktigste direkte tiltak som vil påvirke metanproduksjonen hos drøvtyggere er (Johnson & Johnson 1995, Moss *et al.* 2000, Boadi *et al.* 2004, Hopkins & Del Prado 2007):

Fôropptak:

Økt fôropptak gir økt totalproduksjon av metan per dyr, men mindre metanproduksjon per enhet opptatt fôr og per produsert enhet.

Rasjonssammensetning/fôrtype

- Grovfôrbaserte rasjoner gir opphav til høyere metanproduksjon sammenlignet med kraftfôrbaserte rasjoner.
- Tidlig høsta grovfôr gir mindre metanproduksjon enn seint høsta grovfôr.
- Innslag av kløver/belgvekster kan bedre beitekvaliteten og redusere metanproduksjonen.

Fôrbehandling/prosessering

- Mekanisk behandling av fôrmidlene som reduserer partikkelstørrelsen gir redusert metanproduksjon pga økt passasjehastighet av fôret gjennom fordøyelseskanalen.
- Ensilering av grovfôr reduserer metanproduksjonen sammenlignet med tørking av grovfôr.

Tilsetning i fôret som vil påvirke fermenteringsmønsteret i vomma

- Fett/oljer i rasjonen vil redusere metanproduksjonen.
- Ionofore stoffer (f.eks monensin), tanniner og ulike plantekstrakter (essensielle oljer) og enkelte organiske syrer vil hemme metanproduksjonen.

En sammenstilling av effektene av direkte tiltak på grunnlag av publisert litteratur (Boadi *et al.* 2004) viser at det kan være et stort potensial for å redusere metanproduksjonen fra mjølkekyr og andre drøvtyggere (10-40 %). Imidlertid er det viktig å få avklart hvor en står i dag i forhold til de enkelte direkte tiltakene, når det gjelder å kunne redusere metanproduksjonen i praksis. Mange av enkelttiltakene er korrelerte og man kan derfor ikke bare summere effekten av tiltakene. Det er heller ikke utført norske forsøk som kan verifisere de betydelige kvantitative effekter som en finner i litteraturen.

Det må understrekes at en del av de direkte tiltakene for å redusere metanproduksjonen i vomma kan være et tveegget sverd, fordi de kan redusere fordøyeligheten av grovfôret og øke utskillelsen av næringsstoffer i gjødsla. En del av de direkte tiltakene står derfor i motsetning til målsetningen om høgest mulig grovfôropptak og grovfôrutnytting i drøvtyggerproduksjonene.

Etter vår vurdering kan de direkte tiltakene bidra til en reduksjon i metanproduksjonen hos drøvtyggerne på i størrelsesorden 10 – 15 % under våre praktiske fôringsregimer.

Direkte tiltak – Nitrogen

Tapet av lystgass har sammenheng med den totale mengden N som tilføres jorda i gjødsla. En reduksjon i N-utskillelse i husdyrgjødsel vil derfor bidra til en reduksjon av både NH₃ og N₂O til luft, og til en reduksjon i avrenning av nitrat (NO₃) til jord og grunnvann. Andelen N i husdyrgjødsel som omdannes til N₂O (kg N₂O-N/ kg N) varierer rundt 0,1 % avhengig av systemet for gjødsellagring (IPCC, 1997 etter Hoem 2006).

Tap av N under fordøyelsen og intermediær omsetning hos drøvtyggerne ligger mellom 70 og 80 % og for enmagede dyr mellom 35 og 65 % (Tabell 11). En reduksjon av N-tapet i gjødsel/urin kan i prinsippet oppnås ved følgende direkte tiltak:

- Drøvtyggere:
 - Senke innholdet av N i fôrrasjonen.
 - Redusere nedbryningen av fôrproteinene i vomma.
 - Øke effektiviteten av den mikrobielle proteinsyntesen i vomma.
 - Balansere forholdet mellom absorberte aminosyrer og energi i produksjonen.
- Enmagede dyr:
 - Senke innholdet av N i rasjonen ved å tilføre protein med høy biologisk verdi.
 - Balansere forholdet mellom absorberte aminosyrer og energi i produksjonen.

En reduksjon i N-innholdet i rasjonen vil gi mindre N i gjødsel og urin, men kan samtidig redusere husdyrproduksjonen. Videre kan et redusert N-innhold i husdyrgjødsel medføre en lågere gjødselverdi for plantene, og resultere i mer bruk av handelsgjødsl. Det kan derfor være vanskelig å vurdere hva som er det optimale N-innholdet i fôret når en skal ta hensyn til alle relevante forhold. Etter vår vurdering kan de direkte tiltakene bidra til en reduksjon i N-tapene i husdyrproduksjonen i størrelsesorden 8 – 10 % under norske forhold.

Indirekte tiltak – produksjonsintensitet

Økt produksjonsintensitet innebærer høyere produksjon per dyr. Et bestemt produksjonsmål kan dermed nås med færre dyr. En produksjonsøkning per dyr vil i prinsippet innebærer et mindre tap av metan og N per produsert enhet fordi vedlikeholdsbehovet blir redusert.

I Norge har mjølkeytelsen per ku vært relativt konstant de siste 10-15 år, og lå i år 2006 på ca 6500 kg. Dette er under ytelsesnivået både i Sverige (ca.9500 kg) og Danmark (ca 8000 kg) som i hovedsak har det samme avlsmaterialet som oss. Selv om fôrgrunnlaget i våre naboland er noe forskjellig fra vårt, er det potensial for å øke mjølkeproduksjonen per ku utover nåværende nivå, ved å øke fôrstyrken. Utviklinga innen mjølkeproduksjonen de nærmeste åra vil trolig gå mot færre kyr og besetninger samtidig som besetningene blir større og mjølkeytelsen per ku vil stige. Det bør være mulig å øke den gjennomsnittlige årsavdråtten per ku fra nåværende 6500 til opp mot 8000 kg i løpet av en tiårsperiode. En del av denne avdråttsøkningen bør kunne oppnås ved å bedre kvaliteten av det hjemmeavla grovføret, og således ikke føre til vesentlig større behov for innkjøp av kraftfôr til gården eller en høyere andel importert kraftfôr.

I Norge foregår størstedelen av kjøttproduksjonen på storfe i kombinasjon med mjølkeproduksjon, men andelen spesialisert kjøttproduksjon har økt de senere årene. Storfekjøtt kan produseres ved mange ulike produksjonsformer og intensiteter (Matre & Berg, 2001). Vi har tatt utgangspunkt i to ulike intensiteter i kjøttproduksjonen på okse, med en slaktealder på henholdsvis 18 og 14 måneder og lik slaktevekt på 290 kg.

I Tabell12 er vist beregninger over sammenhengene mellom produksjonsintensitet og tap av metan og N i gjødsel og urin i mjølke- og kjøttproduksjonen på okser. En intensivering av mjølke- og kjøttproduksjonen på storfe gir mindre metanproduksjon både i prosent av bruttoenergiopptaket og per kg produkt. I mjølkeproduksjonen er nedgangen i metanproduksjonen uttrykt per enhet produkt nesten 20 %, når avdråtten per ku øker fra 6000 til 8000 kg, og hele 31 % per kg mjølk når avdråtten per ku øker fra 6000 til 10000 kg. Per ku og år vil imidlertid metanproduksjonen øke med ca 15 %. I kjøttproduksjonen på storfe vil en reduksjon i oppføringstiden på 4 mnd gi en nedgang i metanproduksjonen på 15 % av bruttoenergien og 24 % per kg slakt ved en slaktevekt på 290 kg.

En intensivering av mjølke- og kjøttproduksjonen på storfe øker behovet for nitrogen i rasjonen, men har liten effekt på tapene av N i gjødsel og urin som prosent av opptatt N. I mjølkeproduksjonen går tapene av N i gjødsel og urin per kg mjølk ned med ca 15 % når avdråtten øker fra 6000 til 8000 kg, og i kjøttproduksjonen på okser med 16 % per kg slakt når slaktealderen går ned med fire måneder. Totaltapet av N i gjødsel og urin per ku er 96 kg ved 6000 kg og 108 kg ved 8000 kg.

Tabell 12: Utskillelsen av metan og nitrogen (N) i gjødsel og urin ved ulike intensiteter i mjølke- og kjøttproduksjonen på storfe. Beregninger etter NorFor-Plan (Volden, 2007, upublisert, Volden & Nes, 2006).

Produksjonsintensitet	Kraftfôr ¹	Bruttoenergiopptak (MJ)	Metan, % av bruttoenergi	Metan, gram per kg mjølk/slakt
Mjølkeproduksjon (inkludert tørrperioden)				
6000 kg/år	30	100739	8,3	24,3
8000 kg/år	45	116683	7,7	19,8
10 000 kg/år	54	132041	7,2	16,8
Kjøttproduksjon på okse (slaktevekt 290 kg)				
18 mnd alder	27	60814	8,2	306
14 mnd alder	45	52661	7,0	233

Produksjonsintensitet	Totalt opptak Av N, g	Urin, % av N opptak	Urin, g/kg mjølk/slakt	Gjødsel, % av N opptak	Gjødsel, g/kg mjølk/slakt
Mjølkeproduksjon (inkludert tørrperioden)					
6000 kg/år	132	41,2	8,7	31,7	7,3
8000 kg/år	157	39,8	7,4	31,5	6,1
10 000 kg/år	186	40,1	7,2	30,7	5,7
Kjøttproduksjon på okse (slaktevekt 290 kg)					
18 mnd alder	71	50,5	150	30,2	82
14 mnd alder	79	50,8	129	29,1	71

¹ Kraftfôr, % på energibasis i totalrasjonen

En intensivering av mjølke- og kjøttproduksjonen innebærer at det trengs færre dyr til å produsere en bestemt mengde produkt. Med utgangspunkt i tallene fra Tabell 12 og et innenlands produksjonsmål på 1500 mill liter mjølk og 82 mill kg storfekjøtt, hvorav 45 mill kg fra okse, er det mulig å estimere potensialet for reduksjon i totalutslipp av metan og N i disse primærproduksjonene (Tabell 13).

Tabell 13: Potensial for utslippsreduksjon for metan og N utskillelse i urin og gjødsel i mjølke- og kjøttproduksjonen på storfe ved økt produksjonsintensitet og et produksjonsmål på 1500 mill liter mjølk og 82 mill kg storfekjøtt, herav 45 mill tonn oksekjøttproduksjon. Metanproduksjon og N utskillelse er oppgitt i Tonn/år

Produksjonsintensitet	Antall dyr	Metanproduksjon	N utskillelse i gjødsel og urin
Mjølkeproduksjon			
6000 kg/år	250000	36450	24055
8000 kg/år	187000	29621	20669
10000 kg/år	150000	25200	19754
Kjøttproduksjon på okse (slaktevekt 290 kg)			
18 mnd alder	250000	13694	10775
14 mnd alder	200000	10718	9858

Tabell 13 viser at en økning i mjølkeytelsen per ku og år fra 6000 til 8000 kg gir en årlig reduksjon i utslipp av metan på 6800 tonn (ca 20 %), og en årlig reduksjon N-utskillelse i gjødsel og urin på 3400 tonn N (14 %). På samme måte gir en intensivering av kjøttproduksjonen på okse en nedgang i utskillelse på ca 3000 tonn metan (28 %) og ca 900 tonn N (9 %). Hovedårsaken til de beregnede utslippsreduksjonene ved økt produksjonsintensitet er at det trengs færre dyr for å oppnå de nasjonale produksjonsmålene for mjølk- og oksekjøttproduksjon.

Ved en nedgang i antall mjølkekyr vil man måtte øke antallet ammekyr for å opprettholde den innenlandske produksjonsvolumet av storfekjøtt. Totalbildet innenfor mjølk- og

kjøttproduksjonen på storfe når det gjelder utslipp av klimagasser er derfor sammensatt og komplisert og må utredes nærmere (se avsnitt 3.2.3).

Økt produksjonsintensitet kan gi muligheter for reduksjoner i klimagassutslipp fra primærproduksjonene, men innebærer samtidig en betydelig nedgang i dyretallet som vil komme i konflikt med andre landbrukspolitiske mål for husdyrproduksjonen.

3.2.3 FOU-BEHOV

1. Etablere og utprøve teknikker for å måle metanproduksjonen fra ulike drøvtyggere

Grunnlaget for å kunne vurdere metanproduksjonen hos drøvtyggere er at målemetodene er pålitelige. Metanproduksjonen hos husdyra kan måles kvantitativt i såkalte respirasjonskammer. Denne metoden gir eksakte målinger, men utstyret er svært kostbart både i anskaffelse og i bruk. Det finnes i dag enklere og billigere metoder for metanmålinger. Den mest brukte er en gassmarkørteknikk (Sulfur hexafluoride tracer technique - SF₆), som IHA ønsker å ta i bruk, fordi forsøk har vist høy korrelasjon mellom denne metoden og respirasjonskammerforsøk (Johnson *et al.*, 1994). Selv om SF₆- metoden er enklere, krever den fortsatt forsøk med dyr. Det er derfor utviklet ulike laboratoriemetoder for skrining av blant annet metanproduksjonen fra ulike fôrmidler, såkalte *in vitro* gassproduksjonsteknikker som må videreutvikles og utprøves.

IHA har nå etablert et forskningssamarbeid med kanadiske forskere som ligger langt framme når det gjelder å måle metanproduksjonen hos drøvtyggere

2. Videreutvikle modeller for en bedre kvantifisering av metanproduksjon og omsetningen og utskillelsen av nitrogen (N) hos busdyr

NorFor-Plan er et nytt semi-mekanistisk fôrvurderingssystem for storfe som er innført i Norge, Sverige, Danmark og Island fra 2006 (Volden 2006). Systemet skiller seg fra de tradisjonelle fôrvurderingssystemene ved at det tar hensyn til samspillene mellom fôrrasjonens sammensetting og størrelse ved omsetning av næringsstoffene i dyret. Systemet gir derfor en mer korrekt vurdering av fôrets næringsverdi. Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap har i en årrekke arbeidet for å kunne redusere N-tapene hos drøvtyggere. NorFor-Plan gir en bedre beskrivelse av tilførsel og behov for N (protein), og gjør det mulig å kvantifisere utskillelsen av N i mjølk, gjødsel og urin i ulike fôringssituasjoner. NorFor-Plan er således et godt hjelpemiddel for en effektiv fôring med N ved ulike rasjonssammensetninger og produksjonsnivå. Systemet er imidlertid ikke utviklet til å beregne metanproduksjonen i vomma. Det er derfor viktig å innarbeide likninger for metanproduksjon i NorFor-Plan for drøvtyggere slik at den også kan benyttes som modellverktøy for beregning av metanproduksjon hos drøvtyggere.

3. Gjennomføre stoffskifteforsøk med målinger av metanproduksjon og N-balanse hos drøvtyggere for å undersøke effektene av:

- a) Produksjonsintensitet
- b) Høstetidspunkt av gras til konservering
- c) Beite vs. innefôring
- d) Mengde og type karbohydrat og protein (N) i rasjonen
- e) Tilsetning av fett/oljer i fôret
- f) Andre tilsetningsstoffer (planteekstrakter)

Grunnleggende forsøk med vomfistulerte mjølkekyr har vist at fermenteringsmønsteret i vomma hos nordiske kyr er annerledes enn hos amerikanske. Det skyldes i hovedsak forskjeller i fôrrasjonens sammensetting. Ut fra teoretiske støkiometriske betraktninger indikerer dette at metanproduksjonen også er forskjellig. Det finnes imidlertid ikke data fra norske forsøk som kan verifisere dette. Derfor er det viktig å få gjennomført forsøk hvor man måler produksjonen av metan på norske fôrrasjoner.

IHA har i dag en velutstyrt stoffskifteavdeling med de nødvendige fasiliteter for å kunne undersøke effektene av faktorene (a-f) nevnt under punkt 3 over.

4. *Klarlegge behovet for forskning og forsøk angående utnyttning og tap av N hos enmagede dyr*
5. *Utarbeide (parametrisere) og teste ligninger for metanproduksjon og N- utskilling ved ulike produksjonsintensitet og driftsforhold*

FNs klimapanel (IPCC) har beskrevet to fremgangsmåter for å beregne mengden av klimagasser fra husdyr (Tier1 og Tier2). Høsten 2005 fikk Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap en forespørsel fra Statens Forurensningstilsyn om å forbedre beregningsgrunnlaget for utslipp av metan fra storfe i Norge. Her i landet er om lag 90 % av alt storfe tilknyttet Kukontrollen, hvor det for mjølkeku er utfyllende informasjon om melkeytelse og fôring. For storfe i vekst til slakt er det registrert informasjon om slaktevekt og slaktealder. Dette informasjonsgrunnlaget har gjort det mulig å utvikle en spesifikk beregningsmetode for metanutslipp fra norsk storfe (Tier 3) (Volden & Nes, 2006). Beregningene av metanproduksjonen i Tier 3 er basert på publiserte ligninger fra litteraturen over sammenhengene mellom metanproduksjon, fôropptak og rasjonssammensetning (Kirchgeßner *et al.* 1995; Mills *et al.*, 2003). Disse ligningene må imidlertid testes under norske forhold (jfr.punkt 1-3 ovenfor).
6. *Tilpasse eksisterende internasjonale klimagassmodeller på gårdsnivå og for hele verdikjeden til norske driftsforhold*

Det finnes i dag en rekke modeller som søker å simulere miljøeffekter i hele eller deler av produksjonssystemet (FARM, Habets, 1991; CropSyst, Stockle *et al.*, 1994; FASSET, Jacobsen *et al.*, 1998; (se www.fasset.dk); ECECMOD, Vatn *et al.*, 1999; DNDC, Li 2000; Brink *et al.*, 2005; Del Prado *et al.*, 2005; Farm GHG, Olesen *et al.*, 2006; Del Prado *et al.*, 2006b (SIMS_{Dairy}). Noen av disse modellene vil kunne danne utgangspunkt for utvikling av gårdsmodeller og verdikjedemodeller for ulike primærproduksjoner under norske forhold.
7. *Utarbeide livsløpsvurderinger for de viktigste norske fôrmidler og busdyrprodukter etter mønster fra andre land (for eksempel Danmark)*

Livsløpsvurderinger (LCA) er også basert på en helhetstankegang der en søker å modellere miljøeffektene til et produkt fra det produseres og gjennom dets levetid. Metoden er standardisert (ISO 140 44 (2006)) er anerkjent som et redskap for å kunne vurdere miljøbelastningen fra ulike landbruksprodukter. Resultatene fra LCA analyser angis per produktenhet (f.eks klimagassutslipp/kg mjølk eller kjøtt). I Danmark er det bygget opp en LCA – database for en rekke landbruksprodukter inkludert hvete bygg, soyamjøl og ulike mjølk og kjøttprodukter (www.LCAFood.dk). LCA analyser vil kunne identifisere de mest betydningsfulle kildene til forurensning i livsløpet til de ulike landbruksprodukter, og derigjennom vil en kunne være bedre i stand til å foreslå tiltak som gir størst effekt.

3.2.4 LITTERATUR

- Berg, J. & Matre, T. 2001: Produksjon av storfekjøtt. Landbruksforlaget, Oslo. 198s.
- Berg, W., R. Brunsch, R., Pazsiczki, I.. 2006.: Greenhouse gas emissions from covered slurry compared with uncovered during storage. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112:129-134.
- Boadi, D., Benchaar, C., Chiquette, J., Massé, D. 2004. Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: Update review. *Can. J. Anim. Sci.* 84:319-335.
- Brink, C., van Ierland, E., Hordijk, L., Kroeze, C. 2005. Cost-effective emission abatement in agriculture in the presence of interrelations: cases for the Netherlands and Europe. *Ecological Economics*, 53, 59-74.
- Del Prado, A., Cardenas, L., Scholefield, D. 2005: Impact of NO₃ leaching abatement measures on N₂O and CH₄ emissions from a UK dairy system. In: Soliva, C.R., Takahashi, J., & Keuzer, M (eds) Working papers, second international conference on greenhouse gases and animal Agriculture (GGAA), 20-24 sept. 2005, Zurich, Switzerland, pp. 218-221.
- Del Prado, A., Scholefield, D., Chadwick, D., Misselbrook, T., Haygart, P., Hopkins, A., Dewhurst, R., Davison, P., Lord, E., Turner, M., Aikman, P. 2006b: A modelling framework to identify new integrated dairy production systems. *Grassland Science in Europe*, 10, 766-768.
- Habets, A.S.J. 1991: FARM, a more objective calculating modell for arable, dairy, beef and mixed farms. MSc thesis, Department of Ecological Agriculture, Wageningen.
- Hilhorst, M.A., Mele, R.W., Willers, H.C., Groenestein, C.M., Monteny, G.J. 2001: Effective strategies to reduce methane emissions from livestock. ASAE annual meeting.
- Hopkins, A. & Del Prado, A. 2007: Implications of climate change for grassland in Europe: impacts, adaptations and mitigations options: a review. *Grass and Forage Science* 62 (2):116-126.
- IPCC 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis.
- ISO 14 044. 2006: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. (ISO 14 044:2006).
- Jacobsen, B.H., Petersen, B.M., Berntsen; J., Boye, C., Sørensen, C. G., Søgaard, H. T. Hansen, J. P., 1998: An integrated economic and environmental farm simulation modell (FASSET). Danish Institute of Agricultural and Fisheries Econo, Report no. 102, Copenhagen, Denmark.
- Johnson, K.A. & Johnson, D.E 1995: Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.* 73:2483-2492.
- Johnson, K.A., Huyler, M.T., Westberg, H.H., Lamb, B.K. Zimmermam, P. 1994: Measurement of methane emissions from ruminant livestock using SF₆ tracer technique. *Environ. Sci. Technol* 28:359-362.
- Kirchgessner, M., Windisch, W. Müller, H.L. 1995: Nutritional factors for the quantification of methane production. In. W. v. Engelhardt, S. Leonhard-Marek, G. Breves & D. Giesecke (eds.). *Ruminant physiology: Digestion, metabolism, growth and reproduction. Proceedings of the 8th International Symposium on Ruminant Physiology.* Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Li, C. S. 2000: Modeling trace gas emissions from agricultural ecosystems. *Nutrient cycling in agrosystems* 58, 259-276.
- Mills, J.A.N., Kebreab, E., Yates, C..M., Crompton, L.A., Cammell, S.B., Dhanoa, M.S., Agnew, R.E., France, J. 2003: Alternative approaches to predicting methane emissions from dairy cows. *J. Anim. Sci.* 81: 3141-3150.

- Morken, J. 2003: Reduksjon av landbrukets utslipp av drivhusgasser og NH₃ gjennom anaerob behandling av husdyrgjødsel, potensialet og kostnader. Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for matematiske realfag og teknologi, Aas, Norway.
- Moss, A.R., Jouany, J.-P., Newbold, J., 2000: Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann. Zootech.* 49:231-253.
- Olesen, J.E., Schelde, K., Weiske, A., Weisbjerg, M.R., Asman, W.A.H., Djurhuus, J., 2006: Modelling greenhouse gas emissions from European conventional and organic dairy farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112, 207-220.
- Sommer, S.G., S.O. Petersen, S.O. H.B. Moller, H.B.. 2004.: Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 69:143-154.
- Statistisk sentralbyrå 2007: Kildefordelte utslipp til luft. 2005.
<http://www.ssb.no/emner/01/04/10/klimagassn/tab-2007-05-11-03.html>
- Statistisk sentralbyrå 2007: Utslipp til luft etter næring. Klimagasser. 2005.
<http://www.ssb.no/emner/01/04/10/klimagassn/tab-2007-05-11-05.html>
- Stockle, C.O., Martin, S.A., Campell, G.S. 1994 CropSyst, a cropping systems simulation modell: Water/nitrogen budgets and crop yield. *Agricultural Systems* 46, 335-359.
- Vatn, A., Bakken, L., Botterweg, P. et al., 1999: ECECMOD: an interdisciplinary modelling system for analysing nutrient and soil losses from agriculture. *Ecological economics* 30, 189-205
- Volden, H. 2006: NorFor Plan – Nytt fôrvurderingssystem. Hefte. 28 s. Særtrykk fra Buskap.
- Volden, H. & Nes, S.K. 2006: Methane emissions from enteric fermentation in Norwegian's cattle and sheep population. Method description. Appendix H. pp181-189. In: Hoem, B. (ed.). *The Norwegian Emission Inventory 2006. Documentatin of methodologies for estimating emissions of greenhouse gases and long-range transboundary air pollutants.* Statistisk sentralbyrå / Statistic Norway, Reports 2006/30. ISBN 82-537-7061-8 (Elektronisk versjon).
http://www.ssb.no/emner/01/04/10/rapp_emissions/rapp_200630/rapp_200630.pdf

3.3 SKOGBRUKET

3.3.1 DAGENS SITUASJON

Verdikjede – oversikt og prinsipiell betraktning

Opptak og utslipp av klimagasser fra skogbrukssektoren kan grovt deles inn i to kategorier. Den ene er knyttet til primærskogbrukets dynamikk og hvordan skjøtsel, tilvekst og avvirkning påvirker fluktuationene av karbon i biomasse og jord, og den andre til produksjon, tilvirkning og bruk av skogbruksprodukter. Den sistnevnte kategorien inkluderer bruken av innsatsfaktorer i produksjon av trelast, papir og bioenergi, i tillegg til lagring av karbon i visse treprodukter. Innsatsfaktorene kommer inn i hele verdikjeden, fra avvirkning og transport frem til vei, videre transport til fabrikk, prosessering, og derfra transport til grossist/ utsalgssted, eventuelt videre til detaljhandel. Noen produkter kan ha enda et transportledd, siden de går gjennom enda et ledd i tilvirkningen (for eksempel masse -> papir, trelast -> høvellast, flis -> sponplater).

Primærproduksjonen er lik for de ulike treproduktene i Norge, siden alt skogsvirke hogges og drives frem på tilnærmet samme måte, uansett hva slags sluttprodukt de ender i. Forskjellene starter ved bilvei, der sagtømmer, massevirke og eventuelt energivirke skilles ut for differensiert transport på lastebil eller tog til destinasjonene. Massevirke har typisk lengre transport enn sagtømmer, siden papir- og masseindustrien er mye mer konsentrert enn trelastindustrien. Ulike

flistyper er biprodukter fra trelastindustrien og går til energi på sagbruket eller eksternt til masse- og sponplateindustri.

Prinsipielt kan skog og bruk av skogprodukter påvirke CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren på tre måter: Før det første bindes via fotosyntesen store mengder CO₂ i biomasse, humus og jordbunn så lenge skogen vokser – i Norge fra 40 til over 200 år avhengig av treslag, alder og markas produksjonsevne (bonitet). Dersom skogen ikke hogges, vil denne bindingen av CO₂ etter en tid nå sitt maksimum. Deretter vil skogen gå mot en likevektstilstand, der tilveksten tilsvarer naturlig avgang, slik at årlige opptak av CO₂ er identisk med årlige utslipp. Den naturlige avgangen avhenger ikke bare av skogens biologiske levealder, men påvirkes også av sopp, insekter, snø- og vindskader og andre ytre faktorer. På arealene der en driver aktiv skogskjøtsel, vil en kunne påvirke denne bindingen ved ulike tiltak som for eksempel plantetetthet, tynningsstyrke, gjødsling, valg av hogstmetode og hogsttidspunkt.

Når skogen avvirknes, vil en få råstoff til produkter (ved, flis, papir, trelast) som direkte eller indirekte substituerer for utslipp av fossilt brensel. Skogbasert bioenergi substituerer direkte fossilt brensel, mens den indirekte substitusjonen framkommer ved at trelast, bygningsmaterialer og andre produkter basert på skogsvirke erstatter materialer og produkter som krever mer energi (i produksjonen og over livsløpet) – som stål, aluminium, betong og kunststoffer. Når de skogbaserte produktene har hatt sin funksjon (papiret er resirkulert optimalt og bygningsmaterialene utrangert), kan de til slutt brennes i varmeanlegg og slik substituere fossilt brensel. I den nye skogen som kommer opp på det avvirkede arealet, vil et nytt omløp binde atmosfærisk CO₂. Rett etter avvirkning vil en få økt nedbrytningen av humus, hogstavfall og røtter som gir karbonutslipp til jord, vann og luft, og noe av karbonutslippet til jord vil bindes i jordbunnen. Utnyttelsen av skogsvirke til trelast, papir og biobrensel vil kreve bruk av fossilt brensel bl.a. til transport. Alle disse virkningene må inngå i et klimagassregnskap for skogbrukssektoren.

Disse hovedmåtene – netto utslipp/binding og substitusjon – representerer hva som skjer ved bruk av dagens teknologi, og viser kompleksiteten når en skal analysere klimagassregnskap for skogsektoren og nettovirkninger av skogbasert bioenergi. I tillegg, dersom den i dag mye diskuterte teknologien med CO₂-fangst fra kull- eller gasskraftverk utvikles til å bli kostnadseffektiv, vil denne teknologien sannsynligvis også kunne benyttes for store biobrenselanlegg der skogsvirke inngår. Vi vil da få en tredje måte der skog og skogbruk vil kunne redusere konsentrasjonen av atmosfærisk CO₂ permanent.

Størrelsesorden

I Norge i 2004 ble det bundet 28,5 millioner tonn CO₂ i Norges skoger (inklusive humus, jordbunn, røtter, stamme og greiner). Til sammenligning var Norges samlede menneskeskapte utslipp av CO₂ da 44 millioner tonn, og av klimagasser totalt 54 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Bindingen i skog tilsvarer dermed 53 % av totale norske klimagassutslipp det året, og skog kan derfor sies å være den viktigste enkeltsektoren i det norske klimagassregnskapet. Tre fjerdedeler av denne nettobindingen er i levende biomasse, mens økningen av karbon i død biomasse tilsvarer 3,9 M tonn CO₂, og i jord 2 M tonn CO₂.

På global basis ser en i de industrialiserte land stort sett de samme hovedtrekkene som i Norge, men nettobindingen av CO₂ i skog varierer, avhengig av omfang av skogskader (brann, innsektsangrep, m.v.) klimaforhold, tilgang til næringsstoffer og hvordan avvirkningen er i forhold til tilvekst. Den store forskjellen framkommer mellom i-land og fattige, tropiske land. Generelt har i-land en netto binding, mens avskoging i noen u-land gir store utslipp av CO₂. Det

er betydelig usikkerhet om størrelsen på disse utslippene, men IPCC anslår 5800 millioner tonn CO₂ per år (IPCC 2007) – dvs. nesten 20 % av alle menneskeskapte klimagassutslipp.

Når det gjelder substitusjon, viser analyser utført i de nordiske land (se litteraturlista) at bruk av skogbaserte produkter gir betydelige reduksjoner i klimagassutslipp. Raymer (2006) utførte livsløpsevurderinger av ulike typer skogbasert bioenergi i Norge og sammenlignet utslippene med utslipp fra fossile brennstoff for å estimere nettoeffektene av å erstatte fossile brennstoff med bioenergi. Konklusjonen var at utslippene fra tilvirkning og transport fra de fleste typer bioenergi er i samme størrelsesorden, mens utslipp fra ved er noe høyere enn fra andre typer. Årsaken er at ved er mer transportintensivt og at ovnene hvor det brennes ved, har lavere virkningsgrad enn ovner for andre typer bioenergi. Utslippene fra transport og produksjon av bioenergi som flis, pellets og briketter er små (mellom 2 og 6 %, avhengig av hva slags fossil brennstoff som erstattes) i forhold til utslippet fra de erstattede fossile brennstoffene, og har liten innvirkning på nettoreduksjon av klimagassutslipp ved erstatning av fossile brennstoff med skogsbrensel. Dette gjelder så lenge bioenergien er CO₂-nøytral i den forstand at skogarealet som biomassen kommer fra, forutsettes å binde like mye CO₂ som forbrenningsprosessen slipper ut. Under forbrenningen av bioenergi slippes små mengder av metan (CH₄) og lystgass (N₂O) ut (Raymer 2006). I hvor stor grad bioenergi kan regnes som fullstendig klimagassnøytralt avhenger av størrelsen på disse utslippene når ved undergår forråtnelse. Størrelsen på disse utslippene under råtning avhenger av de naturlige betingelsene, som tilgang på oksygen, og vil dermed kunne variere mye.

Flere analyser er gjort på hvor store reduksjoner i klimagassutslipp kan være ved å erstatte stål, betong og andre materialer med tre i bygningssektoren (f.eks. Gustavsson *et al.* 2006, Gustavsson & Sathre 2006, Sathre & Gustavsson 2007, Petersen & Solberg 2002, 2003, 2004, 2005). Petersen og Solberg (2005) sammenlignet flere slike studier gjort i Norge og Sverige. Erstatning av stål med tre reduserer klimagassutslippene med mellom 36 og 530 kg CO₂e/m³ benyttet tømmer, mens ved å erstatte betong med tre kan utslippene reduseres med mellom 93 og 1062 kg CO₂e/m³ benyttet tømmer. En svakhet med mange av studiene er at de ikke inkluderer økonomiske faktorer, og dermed ikke ser på faktiske muligheter for å erstatte stål og betong med tre gitt økonomiske rammer.

Ved å erstatte stål og betong med tre får man også den effekten at karbonet lagres videre i konstruksjonene. SFT har ifølge NOU (2006: 18) beregnet karbonlageret i treprodukter til bare å tilsvare 11 M tonn CO₂, eller 5,7 promille av lagret karbon i skog. Årlig netto økning av karbon i treprodukter utgjør 0,5 M tonn CO₂, bare en brøkdel av den årlige nettobindingen i skog. Årsakene til at nettoøkningen ikke er større, er for det første at bare om lag en fjerdedel av avvirket tømmer blir til trelast. Det resterende brennes enten omgående eller videreføres til papir, som også har kort levetid (gjennomsnittlig et drøyt år). For det andre bidrar riving av eldre bygninger og nedbrytning av avfall til å redusere nettobindingen.

Ved substitusjon av stål og betong med tre får man altså to effekter som reduserer klimagassutslipp. Det er forsket relativt lite på hvordan økt bruk av tre kan implementeres, samt på effekt og kostnadseffektivitet av slike tiltak.

3.3.2 POTENSIAL FOR UTSLIPPSREDUKSJONER OG ØKT BINDING

Både i Norge og globalt finnes det mange kostnadseffektive skogbrukstiltak som kan settes i verk i tillegg til dagens skogbruk for å redusere konsentrasjonen av CO₂ i atmosfæren. IPCC anslår i sin fjerde hovedrapport at for en kostnad mindre enn 120 NOK per tonn CO₂ vil nye skogtiltak

kunne bidra med en reduksjon i størrelsesorden 1550 million tonn CO₂ per år i 2030. For Norge kan en på bakgrunn av analyser utført ved INA/UMB (Raymer *et al.* 2007) anslått at for en kostnad mindre enn ca. 100 NOK per tonn CO₂, vil nye skogtiltak som settes i verk i dag, om 20 år kunne bidra med en ekstra nettobinding i skog (dvs. ikke medregnet substitusjonsvirkninger) på 4-9 millioner tonn CO₂ per år – avhengig av hvilket framtidig avvirkningsnivå som forutsettes og hvilke hensyn en tar til andre miljøverdier enn reduksjon av innholdet av klimagasser i atmosfæren. (Til sammenligning er karbonfangst fra det planlagte gasskraftverket på Kårstø kostnadsberegnet til ca 600 NOK pr tonn CO₂ og vil gi et redusert utslipp på ca 1.1 mill tonn CO₂ per år).

Analysen gjort ved UMB tyder på at hvis verdien av bundet karbon inkluderes i stående tømmer, vil økonomisk optimal skogtetthet kunne øke betydelig og hogstmodenhetsalderen øke noe, avhengig av verdien på CO₂, tømmerverdien og diskonteringsrente. Dette vil øke stående volum betraktelig. Kvalitetskriterier som kvistmengde og krok vil bli mindre viktig i forhold til tørrstoffdensitet, siden vedens tetthet avgjør hvor mye karbon som lagres (Hoen & Solberg 1997, Solberg 1997, Raymer *et al.* 2007).

Høyere hogstmodenhetsalder vil kunne redusere tømmertilbudet, i alle fall på kort sikt. Det vil igjen kunne føre til høyere tømmerpriser. På den annen siden vil høyere pris på CO₂ øke energiprisene og dermed vil etterspørselen etter tømmer på bekostning av stål og betong kunne øke. Økt etterspørsel etter trevirke vil kunne minske effekten verdien av bundet karbon har på økt hogstmodenhetsalder. CO₂-prisen kan dermed påvirke både skogskjøtsel og markedene for treprodukter, og de kan gjensidig påvirke hverandre, avhengig av hvordan denne prisen implementeres.

3.3.3 FoU-BEHOV

Gitt dagens kunnskapsnivå synes følgende FoU-oppgaver viktigst:

1. Ressurstilgang og miljøkonsekvenser

Sentrale forskningsspørsmål er:

- Hvordan vil skogtilvekst og naturlig avgang påvirkes av økt bestandstetthet og lengre omløp?
- Hva er sentrale miljømessige konsekvenser (mht klimagassutslipp, biologisk mangfold, vannhusholdning, rekreasjon m.v.) av aktuelle skogbehandlingsopplegg?
- Hvor store er utslippene av metan og lystgass når ved råtner i skogen under “normale” forhold, og hvordan endrer disse utslippene seg med endringer i naturlige betingelser skogbehandling?
- Hva er økonomisk optimal skogbehandling (utgangstetthet, treslagsvalg, tynningsstyrke, slutthogsttidspunkt) ved økt etterspørsel etter energivirke og økt pris på karbonbinding?
- Hvilke skogbehandlingsopplegg gir en rimelig avveining mellom økonomi og økologi?
- Hvordan vil arealfordelingen mellom jordbruk og skogbruk utvikle seg med stigende etterspørsel etter bioenergi?

2. Driftsteknikk og energiteknologi

Sentrale forskningsspørsmål er:

- Hva er gode avvirknings- og transportløsninger for skogsfiber? (Her pågår det i dag flere forskningsprosjekt i regi av NFR slik at en bør vente på resultatene fra disse før nye prosjekt igangsettes).
- Hva er sannsynlig teknologisk utvikling av ulike typer bioenergiproduksjon mht. bruk av biomasse, klimagassutslipp, skalafordeler og lønnsomhet?
- Hva er klimagassutslipp, økonomi og andre miljøkonsekvenser over livsløpet av ulike måter å produsere bioenergi på?

3. Samfunnsforskning

Sentrale forskningsoppgaver er her:

- Analysere hvordan tømmertilbudet kan økes i Norge – herunder hvordan ulike typer kontrakter og institusjonelle forhold kan sikre leveringssikkerhet og inntekt for biomasseleverandør og bioenergiprodusenter.
- Utvikle en analysemodell som muliggjør simultan analyse av hvordan økt etterspørsel etter bioenergi (og andre skogindustriprodukter) påvirker karbonlageret i skogen gjennom økt avvirkning, og hvordan mulig verdi på lagret karbon i skog påvirker skogindustri og markeder. Modellen bør være slik at hele verdikjeden, fra planting av skog og bruk av landareal til bruk av treprodukter og hva de erstatter via skogindustri og logistikk, analyseres under ett. Denne modellen bør inkludere økonomiske analyser, for å få mer kunnskap om reelle markedssituasjoner og kostnader og gjennomførbarhet av politiske tiltak, og utviklingen av den vil kreve innsats både fra naturvitenskapelige og samfunnsfaglige miljøer.
- Anvende denne modellen til å analysere økonomiske og miljømessige konsekvenser av ulike virkemidler knyttet til økt satsing på bioenergi og av endrete markedsførhold i relevante markeder, som markedene for skogprodukter, energi og CO₂.
- Analysere utviklingen i Norge i internasjonalt perspektiv: Hva er sannsynlig utvikling av internasjonale sertifiseringssystem for å sikre bærekraftig ressursforvaltning i fattige land? Hvordan vil handel, ulike sertifiseringssystem for biobrensel og internasjonal etterspørsel påvirke tilgangen på biobrensel i Norge? Hvordan vil kostnadsnivået for bioenergiproduksjonen i Norge utvikle seg i forhold til andre land?

4. Hensyntagen til framtidig klimaendringer

Det er sannsynlig at både jordprosesser, bruttoutilvekst og naturlig avgang vil endres ved endret klima. Konsekvensene av endret klima bør derfor analyseres for hver av punktene 1-3 nevnt foran. Dette bør med fordel kunne gjøres i samarbeid med pågående forskningsprosjekt finansiert av NORKLIMA.

3.3.4 LITTERATUR

Miljøverndepartement 2006. NOU 2006: 18. Et klimavennlig Norge

SFT 2006: Greenhouse gas emissions 1990 – 2004 reported according to the UNFCCC reporting guidelines. National inventory report 2006 – Norway.

Bolkesjø, T.F., Trømborg, E Solberg, B., 2007: Biomass market and trade in Norway: Status and future prospects. Accepted in Biomass & Bioenergy.

Bolkesjø, T.F., Trømborg, E., Solberg, B. 2006: Bioenergy from the forest sector: Economic potential and interactions with timber and forest products markets in Norway. Scand.J.Forest.Research 21(2): 175-185.

- Gustavsson, L., Madiener, R., Hoen, H.F., Jungmeier, G., Karjalainen, T., Klohn, S., Mahapatra, K., Pohjola, J., Solberg, B., Spelter, H., 2006a: The role of wood material for greenhouse gas mitigation. *Mitigation and Adaption Strategies for Global Change*. 11(5-6):1097-1127.
- Gustavsson, L., Pingoud, K., Sathre, R..2006b: Carbon dioxide balance of wood substitution: comparing concrete- and wood-framed buildings. *Mitigation and Adaption Strategies for Global Change* (11(3):667-691.
- Gustavsson, L. & Sathre, R. 2006: Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. *Building and Environment* 41(7):940-951.
- Hoen, H. F. & Solberg, B. 1994: Potential and economic efficiency of carbon sequestration in forest biomass through silvicultural management. *Forest Science* 40(3): 429-451.
- Hoen, H.F. & Solberg, B. 1997: CO₂-taxing, timber rotations, and market implications. In Sedjo, R.A., Sampson, R.N. & Wisniewski, J. (eds.): *Economics of carbon sequestration in forestry*. *Critical Reviews in Environmental Sciences and Technology* Vol.27/Special issue: 151-162.
- Hoen, H.F., Eid, T., Økseter, P. 2001: Timber production possibilities and capital yields from the Norwegian forest area - basic information for policy formulation. *Silva Fennica* 35(3):249-264.
- KanEnergi 2007. Biomasse - nok til alle gode formål? Rapport for NVE. KanEnergi Oslo. 26.03.2007.
- Eid, T., Hoen, & H.F. Økseter, P. 2002: Timber production possibilities of the Norwegian forest area and measures for a sustainable forestry. *Forest Policy and Economics* 4(2002):187-200.
- Petersen, A. K. & Solberg, B. 2002: Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated wood instead of steel construction. Case: Beams at Gardermoen airport. *Environmental Science & Policy* 5(2): 169-182.
- Petersen, A. K. & Solberg, B. 2003: Substitution between floor constructions in wood and natural stone: comparison of energy consumption, GHG emissions, and costs over the life cycle. *Canadian Journal of Forest Research* 33(6): 1061-1075.
- Petersen, A. K. & Solberg, B. 2004: Comparison of GHG emissions and costs over the life cycle of flooring materials." *Climatic Change* 64: 143-167.
- Petersen, A. K. & Solberg, B. 2005: Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: A review of micro-level analyses from Norway and Sweden. *Forest Policy and Economics* 7(3): 249-259.
- Raymer, A. K. P. 2005: Modelling and analysing climate gas impacts of forest management. Ås, Norway, Norwegian University of Life Sciences, Department of Ecology and Management of Natural Resource Management (Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for naturforvaltning). Ph.D. Thesis 11/2005.
- Raymer, A.K.P, Gobakken, T. Hoen, H.F Solberg, B. 2007: A forest optimisation model with a complete carbon flow account: Application to a mixed forest in Norway. Department of Ecology and Management of Natural Resource Management , UMB. In manus.
- Raymer, A. K. P. 2006: A comparison of avoided greenhouse gas emissions when using different kinds of wood energy. *Biomass and Bioenergy* 30: 605-617.
- Sathre, R. & Gustavsson, L. 2006. Energy and carbon balances of wood cascade chains. *Resources, Conservation and Recycling* 47(4):332-355.
- Solberg, B. 1997: Forest biomass as carbon sink - economic value and forest management/policy implications. *Critical Review in Environmental Sciences and Technology* 27:323-333.
- Trømborg, E., Bolkesjø, T.F Solberg, B 2007: Impacts of policy means for increased use of forest-based bioenergy in Norway – a spatial partial equilibrium analysis. *Energy Policy* 35 (2007) 5980–5990.

3.4 AVFALL

3.4.1 DAGENS SITUASJON

I det norske klimaregnskapet for 2006 bidrar avfall med 3 % av de totale utslippene (SFT, 2006). Regnskapet inkluderer utslipp fra deponier, avløpsbehandling og småskala avfallsforbrenning (uten energigjenvinning). Avfallsforbrenning med energigjenvinning regnes med til energisektoren og holdes dermed utenfor bidraget fra avfall.

Trass i økning i avfallsmengden er utslipp fra avfall redusert med 17 % fra 1997 til 2004 (Tabell 14). Utslipp fra deponier utgjør 90,6 % av bidraget fra avfall og utslippsreduksjonen er først og fremst en konsekvens av tiltak som har redusert deponering av organisk avfall, samt oppsamling av metangass i deponier. Fra år 2000 har det gradvis blitt innført et forbud mot deponering av våtorganisk avfall. Fra 2009 vil forbudet trolig bli utvidet til å gjelde alt organisk avfall.

Tabell 14: Utslipp fra avfallssektoren i Norge. Mt CO₂-ekvivalenter (SFT, 2006).

	1990	1997	2004
Deponier	1,83	1,78	1,46
Avløpshåndtering	0,11	0,14	0,13
Avfallsforbrenning	0,00	0,02	0,02
Total	1,94	1,94	1,61

Mer om plast og nedbrytbart avfall

Avfall oppstår i alle sektorer i samfunnet. Både energipotensialet og klimautslipp fra avfall er knyttet til det organiske materialet, derfor er det først og fremst avfall med organisk innhold som er interessante i denne sammenhengen. I 2003 ble det generert 3,9 millioner tonn nedbrytbart avfall i Norge (SFT, 2003), i tillegg til dette ca. 400 000 tonn plastavfall. Av det nedbrytbare avfallet var våtorganisk-, papir- og treavfall de dominerende fraksjonene.

Husholdninger, industri og tjenesteytende næringer er de største produsentene av nedbrytbart avfall (Tabell 15). Treavfall genereres særlig i trelast/trevareindustri, samt i treforedlingsindustrien. Bygg og anlegg er også en viktig bidragsyter til treavfall. Husholdninger kaster like mye våtorganisk avfall som industrien. Våtorganisk avfall fra industri genereres først og fremst i nærings- og nytelsesmiddelindustrien, mye av dette avfallet benyttes som fôr. I kommuner som kildesorterer våtorganisk avfall i husholdningene går dette avfallet til komposterings- eller biogassanlegg. Der det ikke er kildesortering, går det våtorganiske avfallet oftest til energigjenvinning. Det er på mange måter et paradoks at forbrenning av våtorganisk avfall kan defineres som energigjenvinning. Dette avfallet er så fuktig at det meste av brennverdien i materialet vil gå med til å varme opp og fordampe vannet.

For alle avfallstypene er behandlingsmetoder som bidrar til gjenvinning (materialgjenvinning, energigjenvinning og biologisk behandling) viktige behandlingsløsninger. Likevel er andelen som går til deponi, forbrenning uten energiutnyttelse eller ukjent behandling fortsatt høy (papp/papir/drikkekartong 26 %, plast 59 %, treavfall 36 %, våtorganisk 39 %).

Tabell 15: Nedbrytbare avfallsfraksjoner og plast etter kilde og behandling, tall fra 2005 (SSB, 2007).

Etter kilde:	Papir, papp og drikkekartong	Plast	Tre	Våtorganisk
I alt	1 205	454	1 167	1 173
Husholdninger	591	198	131	483

Jordbruk, skogbruk og fiske	7	12	-	121
Bergverk og utvinning	8	1	10	1
Industri	209	40	681	483
Kraft- og vannforsyning	2	-	2	-
Bygg og anlegg	3	3	253	-
Tjenestenæringer	352	4	90	84
Annen eller uspesifisert kilde	33	196	0	-
Etter behandling:				
Materialgjenvinning	621	57	197	431
Biologisk behandling	-	-	108	133
Energiutnyttelse	260	130	440	144
Forbrenning uten energiutnyttelse	86	47	18	53
Deponering	238	75	191	151
Annen sluttbehandling	-	-	-	-
Annen eller uspesifisert behandling	0	145	213	261

Klimagassutslipp fra landbruk fremgår av Tabell 9. Som vi ser så utgjør utslippene av metan og lystgass fra husdyrgjødsel om lag 1/5 av disse utslippene. Husdyrgjødsel er godt egnet som substrat for biogassbehandling, og innføring av biogass i landbruket er et meget aktuelt tiltak for å kunne redusere disse utslippene.

Landbruket produserer om lag 1,2 mill tonn halm per år. Ved forbrenning tilsvarer det et energiinnhold på om lag 4,5 TWh per år. I de viktigste korndistriktene i Norge har gårdbrukere problemer med å finne fornuftig anvendelse for halmen og den blir nærmest betraktet som et avfallsproblem (Wilhelmsen *et al.*, 2001). Dersom halmen blir liggende, vil den gjennom forråtning kunne gi opphav til utslipp av metan. Også andre organiske avlingsrester som ikke utnyttes vil kunne være kilder til utslipp av klimagasser fra landbruket. Disse har gjerne et høyt vanninnhold og er godt egnet som substrat for biogassproduksjon. Det produseres om lag 18.750 tonn kornavrens i Norge per år. Dette er et avfall som er godt egnet for forbrenning.

3.4.2 POTENSIAL FOR UTSLIPPSREDUKSJONER OG ØKT BINDING

Direkte og indirekte utslippsreduksjoner knyttet til avfallshåndtering kan skje ved:

1. Utnyttelse av avfall som energikilde
2. Avfallsbaserte produkter substituerer andre materialer som bidrar til klimautslipp (torv, gjødsel)
3. Avfallsbaserte jordforbedringsmidler bidrar til karbonlagring i jord
4. Alternativet til avfallsdeponering må gi lave utslipp av klimagasser
5. Rensing av ventilasjonsluft fra fjøs
6. Behandling av gjødsel gjennom biogassanlegg

Utnyttelse av avfall som energikilde

Energi i avfall kan med dagens teknologi produseres på to måter, gjennom forbrenning og ved å produsere metan i anaerobe prosesser. I begge tilfeller er det avgjørende for energiutbyttet at avfall har en riktig kvalitet. Vann i avfall forbruker energi til oppvarming og fordamping,

avfallstyper med høyt vanninnhold er derfor mindre egnet til forbrenning enn tørt avfall. Våtorganisk avfall fra husholdninger er et eksempel på en slik fraksjon som har høyt energiginnhold men som gir lite energi ved forbrenning. En anaerob behandling med oppsamling av metan vil derfor være bedre egnet.

Avfallsbaserte produkter substituerer andre materialer

Dersom kompost kan erstatte torv i vekstjord, vil komposten kunne erstatte/substituere uttak av torv. Torv har i Norge en lang omløpstid, og er å anse som en lagerressurs. Kompost til erstatning for torv er derfor et svært godt klimatiltak.

Alternativet til avfallsdeponering må gi lave utslipp av klimagasser

Det våtorganiske avfallet står i en særstilling med hensyn på potensialet for produksjon og emisjon av klimagasser. Det er lagt mye arbeid både fra myndigheter og avfallsbehandlere i å finne alternative løsninger for dette avfallet. Behandlingsløsninger for denne avfallsfraksjonen er i stadig utvikling. Det er viktig å sikre at alternativene faktisk gir lave utslipp av klimagasser. For anaerobe behandlingsløsninger bør man sikre at tap av metan holdes på et minimum. I større grad enn i dag bør man se hele avfallshåndteringen som en helhet og se på produksjon av klimagasser gjennom hele håndteringsprosessen (innsamling, lagring, forbehandling, lagring av produkter, transport osv.).

Under komposteringsprosesser dannes en rekke gasser, først og fremst karbondioksid og vann. Karbonet i avfallet inngår i et kort matproduksjonskretsløp og regnes derfor ofte som klimanøytralt når det omdannes til CO₂. I tillegg produseres det også en viss mengde metan og nitrogenoksider i komposteringsprosesser. Hvor mye klimagasser og andre langtransporterte forurensninger (for eksempel ammoniakk) som slipper ut fra en komposteringsprosess er derimot mer usikkert. Undersøkelser som dokumenterer denne type emisjon er få og viser svært stor variasjon i emisjoner. Det finnes ikke standardiserte metoder for å måle utslippene fra kompost, noe som kan være en av årsakene til at tallene spriker. Likevel ser det ut som både komposteringsmetode og drift av anleggene kan ha stor innvirkning på utslippene. Dette har gjort at man, bl.a. i Sverige, har satt spørsmålsteget ved kompostering som avfallsbehandlingsmetode.

Rensing av ventilasjonsluft fra fjøs

Hilhorst *et al.* (2001), bant andre, har vurdert ulike metoder til reduksjon av metan i ventilasjonslufta. Det er beregnet at inntil 50 % reduksjon kan oppnås ved å filtrere lufta, enten gjennom et biologisk filter, eller et filter med kjemiske/fysiske prosesser. Filtrering av ventilasjonsluft er ennå på forskningsstadiet. Reduksjonen vil gjelde både utslipp fra dyr og emisjon fra lagring av gjødsel i fjøs.

Behandling av gjødsel gjennom biogassanlegg

Den delen av utslipp av metan som kommer fra lagring av gjødsel og lystgassutslipp fra husdyrgjødsel vil bli redusert i biogassanlegg. Metan fordi man samler opp metanen fra gjødsel, og lystgass fordi man reduserer mengden organisk materiale man sprer på jorda. Morken (2003) beregnet denne reduksjonen ved utnytting fra 10 % av storfeene til ca. 75 000 tonn CO₂-ekvivalenter. Det er imidlertid tvilsomt om modellen til IPCC gir et rett bilde av utslippene. Vi gjør disse forutsetningene:

- fordelingene av utslipp mellom dyr og lager fordeler seg slik som Monteny *et al.* (2006) kom fram til (65/35),
- biogassanlegg medfører en reduksjon av utslipp på 90 % (Sommer *et al.*, 2004),
- lystgassreduksjonen er 50 % (Sommer *et al.*, 2004),

- all gjødsla behandles i biogassanlegg.

Under disse forutsetningene vil reduksjonspotensialet for lystgass være ca. 990 ktonn CO₂-ekvivalenter. Dersom energien brukes til erstatning av fossilt brensel, får vi et ekstra bidrag på 400 ktonn.

I disse beregningene er det ikke tatt hensyn til utnytting av restavlinger. Dette bidrar til lystgassutslippet med 1.577 tonn.

Dersom man bruker biogass som virkemiddel for reduksjon av klimagasser, er det viktig å være klar over ammoniakkutslippspromatikk. I biogassprosessen brytes noe av organisk bundet nitrogen ned til ammoniakk, slik at ammoniakk-konsentrasjonen vil øke. I tillegg økes pH-verdien med ca. 1 enhet. Man bør altså innføre krav om lavemisjons-spredeteknikk for at ammoniakkutslippet ikke skal økes.

Bruk av bioaske

I forbindelse med satsingen på bruk av biobrensel dannes det store mengder bioaske. I dag deponeres gjerne dette, ofte på lokale mindre deponier ”på egen grunn”. Bioaske har et stort potensial som kalkingsmiddel og som gjødsel. Behovet er spesielt stort innen økologisk landbruk. Vi har i dag imidlertid ikke et eget regelverk for tilbakeføring av aske til jord. I dag omfattes asken blant annet av forskriften om gjødselvarer av organisk opphav, et regelverk som ikke er egnet for denne typen gjødsel. På lengre sikt må det også vurderes om det er mulig å tilbakeføre bioasken tilbake til skogen. På lang sikt vil dette kunne øke skogens evne til å ta opp karbondioksid fra luften. Dette reiser imidlertid en rekke spørsmål knyttet til miljøeffekter, gjødslingseffekter og effekter på biologisk mangfold.

3.4.3 FoU-BEHOV

Det er nå en rask utvikling/bygging av biogassanlegg for behandling av matavfall og etter hvert også for behandling av husdyrgjødsel i Norge. Biogassteknologien har vært utviklet for å produsere mest mulig biogass til en lavest mulig pris. Dette innebærer at mange etablerte teknologier ikke er optimalisert med hensyn på å redusere utslippene av klimagasser. Mange utenlandske anlegg er bygget slik at de representerer relativt høye utslipp av metan, og til dels lystgass, begge sterke klimagasser.

Viktige FoU-oppgaver vil være:

- Videreutvikle biogassanleggene slik at utslippene av klimagasser reduseres til et minimum. Dette gjelder både reaktorteknologien, men kanskje i særlig grad behandlingen og bruken av de organiske restproduktene – bioresten. Dette vil være et viktig FoU-område, ikke minst fordi vi i Norge i hovedsak innfører biogassteknologien som et tiltak for å redusere utslippene av klimagasser.
- Sette opp helhetlige klimaregnskap ved innføring av biogassanlegg, både for behandling av kommunalt avfall og for behandling av husdyrgjødsel. Dette gjelder både anleggene og ved bruken av bioresten. I denne sammenheng bør det etableres ett eller flere gårdsbaserte pilotanlegg for behandling av husdyrgjødsel og avlingsrester.

Kompostering vil fortsatt være en viktig behandlingsmetode for våtorganisk avfall, hage- og parkavfall, avløpslam og avvannet biorest fra biogassanlegg. Dersom komposten erstatter torv, vil dette være et viktig klimatiltak. Det er imidlertid viktig å oppnå en optimal kompostering som reduserer utslippene av klimagasser (og lukt), og utslippene av klimagasser (metan og lystgass) bør kvantifiseres.

- Utvikle bedre filtreringsmetoder for ventilasjonsluft vil være et prioritert område siden dette vil kunne redusere utslippene fra fjøs innbefattet fordøyelse av fôr. Vi vil prioritere oksydasjon av metan ved hjelp av titandiosid som katalysator med ultrafiolett lys som energikilde. Problemstillinger vil være hvordan metoden kan tilpasses avtrekkskanaler, hvilket materiale skal titandioksid impregneres med, og skal man ha en filtreringsprosess eller kan titandiosid være brukt i selve kanalaterialet.
- Utslipp av lystgass fra jord som er blitt gjødslet med ulikt behandlet gjødsel. Hypotese: nedbryting av organisk materiale før til spredning vil føre redusert lystgassproduksjon.
- Gjennomføre dyrkingsforsøk hvor bruk av bioaske inngår som en del av gjødselen både i jordbruket og i skogen. Hvordan påvirker bioasken gjenvæksten i skogen? Kan dette øke skogens opptak av karbondioksid på lengre sikt? Hvordan påvirkes det lokale miljøet og artsmangfoldet i skogen?

3.4.4 LITTERATUR

- Berg, W., Brunsch, R., Pazsiczki, I. 2006: Greenhouse gas emissions from covered slurry compared with uncovered during storage. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112:129-134.
- Hilhorst, M.A., Mele, R.W., Willers, H.C., Groenestein, C.M., Monteny, G.J. 2001: Effective strategies to reduce methane emissions from livestock. *ASAE annual meeting*.
- Monteny, G.-J., Bannink, A., Chadwick, D. 2006: Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112:163-170.
- Morken, J. 2003: Reduksjon av landbrukets utslipp av drivhusgasser og NH₃ gjennom anaerob behandling av husdyrgjødsel, potensialet og kostnader. Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for matematiske realfag og teknologi, Aas, Norway.
- Sommer, S.G., Petersen, S.O., Moller, H.B. 2004: Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 69:143-154.
- SFT 2003: Rapport om SFTs høringsforslag til strategi for nedbrytbart avfall. SFT. 55s.
- SFT 2006: National inventory report 2006 –Norway, Greenhouse gas emissions 1990-2004 reported according to the UNFCCC reporting guidelines. ISBN 82-7655-288-9.

3.5 IMPORT KONTRA LOKAL PRODUKSJON

3.5.1 LIVSLØPSVURDERINGER OG UTSLIPP GJENNOM HELE VERDIKJEDEN

Transport av landbruksprodukter medfører utslipp av klimagasser, primært CO₂ fra fossilt drivstoff til kjøretøy. Dette brukes som et (distriktspolitisk) argument for opprettholdelse av lokal landbruksproduksjon. Det er likevel ikke slik at alle typer lokalproduserte landbruksprodukter resulterer i lavere klimagassutslipp enn produkter som må transporteres, selv over lange avstander. En studie utført av Framtiden i våre hender (FIVH 1998) viser at det er stor variasjon i CO₂-utslippene forbundet med produksjon og transport av ulike typer grønnsaker, avhengig av om grønnsakene er produsert i Norge eller i utlandet (Tabell 18). I rapporten står det: ”Når det gjelder tomater og agurker, viser det seg at produksjon i Norge skaper langt større CO₂-utslipp enn import. En kilo norske tomater eller agurker gir opphav til utslipp på mellom 5,1 og 5,4 kg CO₂, avhengig av produkt og innkjøpssted. Til sammenligning skaper importerte tomater eller agurker mellom 1,3 og 1,6 kg CO₂. Dette gjelder et gjennomsnitt av importen, som inkluderer både nederlandske drivhusprodukter og spanske tomater og agurker dyrket på friland. For de sistnevnte er utslippene enda lavere. Transporten til Norge skjer hovedsakelig med lastebil. Men selv for tomater fra Kanariøyene som fraktes med fly, blir utslippene lavere enn for norske tomater fra drivhus. Når det gjelder andre produkter - poteter, epler og grønnsaker som dyrkes på friland i Norge blir derimot utslippene mindre for norske enn for importerte varer.” (FIVH 1998) (Tabell 18). Merk at denne studien ikke har beregnet utslipp av andre klimagasser, som for eksempel CH₄, N₂O.

Tabell 16: Klimagassutslipp forbundet med produksjon og transport av ett utvalg jordbruksprodukter levert ulike destinasjoner i Norge. Tall oppgitt i gram CO₂ per kg produkt. Data er hentet fra FIVH 1998.

	Tomater		Poteter		Epler	
	Norsk	Import	Norsk	Import	Norsk	Import
Utslipp fra produksjon	5065	975	157	94	50	58
Oslo						
Utslipp fra transport	104	400	22	129	28	220
Sum utslipp	5169	1375	179	223	78	278
Trondheim						
Utslipp fra transport	164	479	14	201	123	299
Sum utslipp	5229	1454	171	295	173	357
Tromsø						
Utslipp fra transport	323	650	111	357	285	470
Sum utslipp	5388	1625	268	451	335	528

Etter år 2000 har norske agurk- og tomatgartnere hatt en betydelig avlingsøkning samtidig som energiforbruket per enhet er redusert. Forbrenning av olje er byttet ut med naturgass og propan i over 90 % av disse gartneriene. Forbrenning av gass har et lavere CO₂-utslipp per kWh sammenlignet med olje, som effekt av høyere energiinnhold og bedre virkningsgrad på kjeler. Fra propan og naturgass utnyttes CO₂ fra avgassen til økt vekst. Økt CO₂-nivå inne i veksthuset øker fotosyntesen og avlingen med opp til 30 % (Frode Ringsevjen personlig meddelelse). Lavere energibruk per produsert enhet samt høyere innslag av fornybar energi vil utvilsomt forbedre norske drivhusgrønnsakers klimagassregnskap. Oppdaterte beregninger for ulike grønnsaker og ulike typer energibruk i drivhus vil kreves for å kunne vurdere hvor i verdikjeden det er mest hensiktsmessig å sette inn tiltak for å redusere klimagassutslipp, og for å synliggjøre den eventuelle klimagassgevinsten ved produksjon av lokal vs. importerte grønnsaker.

I utlandet er det gjort flere studier som belyser disse problemstillingene i detalj. Müller (2007) diskuterer transport i forhold til import av fersk frukt og grønnsaker til Storbritannia fra Afrika og viser at begrepet "food-mile", det vil si avstanden maten er transportert før den havner hos forbruker, kan være ett svært misvisende begrep hvis målet er å synliggjøre matens klimagassutslipp for forbrukerne. Konkret nevner han at studier har vist at "karbonavtrykket" fra melkeprodukter, lam og epler produsert på New Zealand, levert i Storbritannia, er opptil fire ganger lavere enn for lokalproduserte produkter, selv etter at utslipp forbundet med transport er tatt med. Han nevner også at utslipp forbundet med dyrking av blomster i Kenya og deretter transportere dem til Storbritannia kan være mindre enn en femtedel enn for blomster dyrket i oppvarmede drivhus i Holland.

Som det går frem av Tabell 18 og eksemplene nevnt over, er det viktig å inkludere klimagassutslipp relatert til transport av landbruksprodukter fra gårdsbruk til videreforedling, og eventuelt videre derfra til grossist/detaljledd, når man skal analysere klimagassregnskapet for det enkelte produkt. For norske forhold har NILF (2007) oppgitt at klimagassutslippene for potet tredobles og for korn dobles hvis man inkluderer hele verdikjeden (ikke bare produksjonen, men også transport, pakking, lagring med mer), mens de kun øker marginalt for storfeproduksjon. Flere utenlandske studier har også vist at man må se på hele livsløpet til produkter for å danne seg et realistisk bilde av klimagassutslippene de er assosiert med. For eksempel har Dewick *et al.* (2007) vist at man må se på utslippene fra mer enn bare primærproduksjonen når man skal kvantifisere klimagassregnskapet for landbruksprodukter. De fant at for engelsk yoghurtproduksjon var minimering av avfallsproduksjon og effektivisering i prosesseringsindustrien spesielt viktig for å redusere de totale klimagassutslippene. En dansk studie (Miljøstyrelsen 2006) viser ved hjelp av livsløpsvurderinger at så kalt økologisk dyrking av tomater og gulrøtter faktisk medfører større utslipp av klimagasser enn konvensjonell dyrking. Årsaken til dette er blant annet at produksjon av økologiske tomater bruker mer elektrisitet og har lavere produksjon per areal og at dieselforbruket til transport av gulrøtter fra åker til pakkeri er større enn for andre grønnsaker. En omfattende engelsk studie (DEFRA 2006) peker også på klimagasseffektene av lavere produksjon per areal ved organisk dyrking (65 % - 200 % mer areal kreves) samt at ulike produkter har ulikt næringsinnhold og derfor ikke nødvendigvis kan sammenlignes direkte. Se også *The Economist* (2006) for en mer populærvitenskaplig gjennomgang av diskusjonen rundt kortreist mat og klimagasser.

Med dette som bakgrunn anser vi det derfor som svært viktig å analysere det totale klimagassregnskapet for ulike landbruksprodukter. Både når man skal vurdere hvorvidt det er klimagassøkonomisk å produsere mat i lokalt i Norge og transportere innenlands, eller i utlandet og importere, men også for å identifisere hvor i produktets livsløp det er mulig å redusere klimagassutslippene mest effektivt.

3.5.2 LITTERATUR

DEFRA 2006: Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities. Defra project report IS0205.
http://www.defra.gov.uk/science/project_data/DocumentLibrary/IS0205/IS0205_3959_FRP.doc

Dewick, P., Foster, C., Green, K. 2007: Technological Change and the Environmental Impacts of Food Production and Consumption: The Case of the UK Yogurt Industry. *Journal of Industrial Ecology* 2007 11:3, 133-146

- FIVH 1998: Godt norsk? CO₂-utslipp ved produksjon, lagring og transport av norsk og importert frukt/grønnsaker” FIVH rapport 7/1998.
- Miljøstyrelsen 2006: Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 5, 2006: Miljøvurdering af konventionel og økologisk avl af grønnsager.
<http://www2.mst.dk/udgiv/Publikationer/2006/87-7614-960-9/pdf/87-7614-961-7.pdf>
- Müller B. 2007: Food Miles or Poverty Eradication? The moral duty to eat African strawberries at Christmas. Oxford Energy and Environment Comment.
http://www.oxfordenergy.org/pdfs/comment_1007-1.pdf
- NILF 2007: Norsk Landbruk i karbon økonomien. Elementer av et mulig fremtidsbilde. Notat utarbeidet for Yara-seminar 2. november 2007.
- The Economist 2006: Special report. Food politics. ”Voting with your trolley”. December 7th 2006.
http://www.economist.com/business/displaystory.cfm?story_id=8380592

3.6 KLIMAGASSER FRA DISTRIBUTJON OG FOREDLING AV MATVARER

3.6.1 EKSEMPLER FRA NORSKE MATVARER

Flere av de store norske næringsmiddelimportører, -grossister og -produsenter er i dag opptatt av å analysere miljøbelastningene de utøver, i alle deler av sin produksjon. Motivene for dette kan være ulike, fra mål om effektivisering og kostnadsreduksjoner til å imøtekomme forbrukerpreferanser eller å forbedre sitt ”klimagassregnskap”. Vi har i denne utredningen ikke søkt å få en fullstendig oversikt over hvilke firma eller organisasjoner som har foretatt hva slags analyser av sine prosesser. Vi vil her kun nevne kort ett par eksempler på firmaer som flagger at de søker å forbedre sitt miljøregnskap, og nevne kort hva de har foretatt seg i den forbindelse:

BAMA inngikk i mai 2007 ett samarbeid med Bellona om å utrede BAMA’s ”miljøfotavtrykk”, med fokus på blant annet hvordan BAMA -gruppen kan redusere sine CO₂ utslipp (BAMA 2007).

Østfoldforskning utførte i 1997, på vegne av Norsk kjøtt og Tine meierier en livsløpsvurdering (LCA) for kjøtt og melk (Møller & Høgås 1997). Dette for å kartlegge miljøutslipp fra kjøtt- og melkeproduksjon. Denne kartleggingen synliggjorde hvilke elementer i produksjonsprosessen som forurenset mest, både når det gjaldt eutrofiering (utslipp av næringsstoffer til jord og vann), klimagasser og avfallsproduksjon.

Tine meierier setter seg årlig miljømål, herunder mål om å redusere klimagassutslipp direkte og indirekte. Av konkrete mål kan nevnes at transport av produkter skal reduseres (antall kjørte kilometer skal ned med 1 %), energibruken skal reduseres med 10 % i forhold til 2003 nivå inne 2008, fraksjon av avfall som gjenvinnes skal være 85 % innen 2010. Tine ser også på løsninger for å flytte mer av transport over på bane (Tine 2007).

Nortura (tidligere Gilde og Prior) har i samarbeid med Stiftelsen Østfoldforskning gjennomført Livsløpsanalyser av norsk kjøttproduksjon fra bås til bord. Livsløpsanalysen har gitt svar på hvilke miljøpåvirkninger som er viktigst, og hvilke ressurs- og innsatsfaktorer som bør forsøkes redusert. Disse analysene er sammen med myndighetenes miljøkrav utgangspunkt for valg av de viktigste miljøaspekter ved virksomheten: Utslipp til vann, vannforbruk og energibruk (Nortura 2007).

I Sverige utfører SIK - Institutet för Livsmedel och Bioteknik AB, forskning rettet spesielt mot landbrukssektoren og næringsmiddelindustrien. De utfører livsløpsvurderinger (LCA) for landbruksprodukter, med fokus på klimagassutslipp og annen miljøbelastning, men også studier

rettet direkte mot næringsmiddelindustrien hvor fokus er på forbedring av prosesssteknikk, energiøkonomisering og andre elementer i produksjonen med forbedringspotensial. SIK utfører oppdrag både i Sverige og internasjonalt (bl.a. Norge).

Det er altså flere aktører som kan utføre livsløpsvurderinger for norske matprodusenter samtidig som bevisstheten rundt anvendbarheten av slike analyser er tilstede hos produsentene og i bedriftene. Det er derfor viktig å være klar over at livsløpsanalyser er en vitenskap i seg selv, hvor forskning er viktig. Det er fremdeles behov for å utvikle metodikken bedre og gjøre analysene effektive og mer realistiske. Dette er et felt hvor det vil trenge mye forskning i tiden som kommer.

3.6.2 LITTERATUR

BAMA 2007: Pressemelding 21.5.2007

Møller, H. & M. Høgås, 1997: Livsløpsvurdering av kjøttproduksjon – en vurdering av kombinert melk/kjøtt produksjon og selvrekutterende kjøttproduksjon. Stiftelsen Østfoldforskning på oppdrag av Norsk Kjøtt. OR 53.97, ISBN 82-7520-301-5

Nortura 2007. <http://www.nortura.no/aarsrapporter/>

Tine 2007. <http://www.tine.no>. – Tine og Miljøet, temaside

SIK 2007. <http://www.sik.se/>

VEDLEGG

KUNNSKAPSSTATUS OG FORSKNINGSBEHOV – KLIMAGASSER OG BIOENERGI

Mandatet for kunnskapsstatusen nedenfor er en oppfølging av vedtak i Fonds-/Avtalestyret 12.3.2007 knyttet til landbrukets utfordringer knyttet til **klimagasser og bioenergi**, samt oppfølging av Forskningsrådets arbeid med **bioenergi**, jf. Brev av Landbruks- og matdepartementet 26.2.2007. Forskningsrådets arbeid omfattes bare delvis av dette mandatet, for eksempel arbeid med andregenerasjons biodrivstoff basert på trevirke.

Målsettingen er å øke kunnskapsnivået og presentere forskningsbehov for å legge grunnlag for Forskningsrådets og Fonds- og Avtalestyrets prioriteringer i det videre arbeid med energi- og klimaspørsmål knyttet til landbruk (jord, skog og utmark) og landbruksbasert foredlingsindustri. Kunnskapsstatusen er todelt. En del er knyttet til bioenergi og en del til klimagasser.

Mandat

Utredningen skal presentere kunnskapsstatus og forskningsbehov innenfor de ulike områdene.

1. Bioenergi

Omfatter biodrivstoff, biobrensel og biogass brukt til oppvarming, drivstoff eller elektrisitetsproduksjon, med spesiell vekt på å vurdere biomasse fra jord, skog og utmark, biprodukter og biologisk avfall fra primærproduksjon og foredling i landbruket og avfall fra husholdninger og industri generelt. Muligheter, potensial og begrensninger for bruk og produksjon må vurderes, herunder energiregnskap og teknologi. Flaskehals, teknologiske utfordringer og miljøkonsekvenser knyttet til økt produksjon av bioenergi skal beskrives.

2. Utslipp av klimagasser fra landbruket, reduksjonspotensiale og kretsløpstenking

Kunnskapsstatusen skal ta utgangspunkt i dagens norske produksjon og ulike alternativer til denne

- gi en vurdering av netto klimagassutslipp fra primærproduksjonen i jord, skog og utmark, landbruksbasert foredlingsindustri og transport fram til varene er på lager hos grossist
- gi en vurdering av hvordan klimagassutslippene kan begrenses, herunder en vurdering av landbrukets muligheter og utfordringer som mottaker av organisk avfall fra industri og husholdninger i et klimaperspektiv
- gi en vurdering av forskjeller i energibruk og klimagassutslipp mellom nasjonal produksjon og import

3. Framdrift

Utredningen skal være ferdigstilt innen 15. november 2007. Forskningsrådet vil arrangere et seminar (workshop) i slutten av september/ begynnelsen av oktober 2007. UMB vil bidra med innledninger og presentasjoner på dette arrangementet, basert på arbeidet med utredningen.

Oslo 5. juni 2007

