

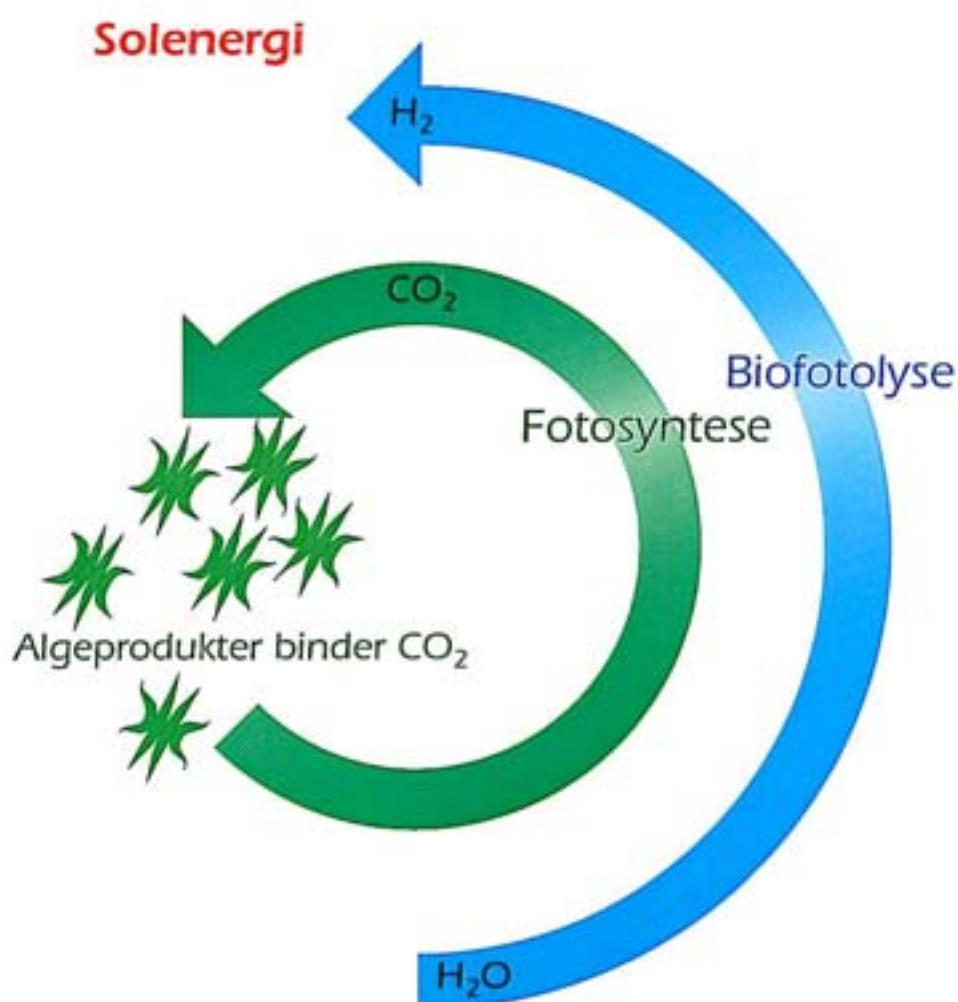
AKT

Algekulturateknologi

Eksperiment- og
produksjonsanlegg for
mikroalger i Vestfold



Delrapport **2:**
Livsløpsanalyser av CO₂-baserte
algeprodukter



Norges forskningsråd (NFR):
FoU-programmet KLIMATEK.
Teknologi for reduksjon av klimagassutslipp

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00

Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 1
4890 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 53
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikerveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordensboer 3
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S

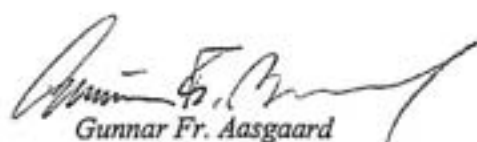
9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Titel Algekulturteknologi. Eksperiment- og produksjonsanlegg for mikroalger i Vestfold.	Lep.nr. (for bestilling) 3990-99	Dato 19.01.99
	Prosjektnr. Undernr. 98001 01	Sider Pris 53
Delrapport 2: Livsløpsanalyser av CO ₂ -baserte algeprodukter	Fagområde Algekulturteknologi	Distribusjon
Forfatter(e) Oddmund Brekke Mie Vold Knut Magne Furuheim Cecilia Askham	Geografisk område Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Norges forskningsråd – FoU- programmet KLIMATEK	Oppdragsreferanse 125117/230
---	---------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Stiftelsen Østfoldforskning (STØ) har utført livsløpsvurderinger (LCA) av før- og energiprodukter fra mikroalger, og sammenlignet disse med sammenlignbare, konvensjonelle produkter. Innenfor førområdet er det utført tre vurderinger: dyrefôr basert på mikroalger, soyamel og fiskemel. Innenfor området energi er det utført vurderinger av mikroalger som råstoff for biodiesel og hydrogen, samt grunnlagsanalyse på fossilt brensel.</p> <p>Det er relativt energikrevende å produsere før fra algebiomasse i lukkede reaktorer. Prosessoptimalisering med tanke på reduksjon i energiforbruk vil være avgjørende for å bedre energiøkonomien ved algebasert produksjon. Ved å erstatte fiskemel og soyamel med algemel, kan utslippene av klimagasser knyttet til disse produktene reduseres vesentlig, forutsatt at kunstgjødsel kan erstattes med andre kilder for næringssalter som ikke bidrar til utslipp av klimagasser.</p> <p>Hydrogengass basert på mikroalger kan trolig i framtida kunne produseres med et positivt energiutbytte, og med en reduksjon i utslipp av klimagasser på mer enn 90% i forhold til bruk av fossil diesel. Produksjon av biodiesel fra alger dyrket i lukkede reaktorer krever mer energi enn en får ut av produktet, basert på de forutsetningene vi har lagt til grunn. Kun dyrking i åpne dammer kan tenkes å gi et positivt energiutbytte, og kan i så fall gi en reduksjon i utslipp av klimagasser på opp mot 50% sammenlignet med petroleumsdiesel.</p>

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mikroalger 2. Livsløpsvurderinger 3. Klimagasser 4. Energi 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Microalgae 2. Life cycle assessments 3. Greenhouse gases 4. Energy
---	---


Gunnar Fr. Aasgaard
Prosjektleder

ISBN 82-577-3587-6


Dag Berge
Forskningsjef



Stiftelsen Østfoldforskning

O-98001

Algekulturteknologi

**Eksperiment- og produksjonsanlegg for mikroalger i
Vestfold**

Delrapport 2

Livsløpsanalyser av CO₂-baserte algeprodukter

Fredrikstad, 19.01.1999

Oddmund Brekke
Mie Vold
Knut Magne Furuheim
Cecilia Askham

Forord

I mikroalgenes egenskaper og sammensetning ligger realisérbare muligheter for kommersiell og samfunnsmessig nytte. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har gjennom mer enn tretti år bygget opp en kultursamling av mikroalger med potensiale for slik utnyttelse. Gjennom målrettet forskning og utvikling ønsker NIVA å danne grunnlaget for en norsk industri basert på forretningsmessig utnyttelse av mikroalger.

Mikroalgene, som tilhører planteriket, baserer sin vekst på fotosyntesen. I dette ligger et potensiale til å utnytte CO₂-innholdet i avgasser fra prosessindustri som "føde" i vekstanlegg for mikroalger. Dette var bakgrunnen for etableringen av forprosjektet "*Algekulturteknologi (AKT); Eksperiment- og produksjonsanlegg for mikroalger i Vestfold*". Prosessindustri i Vestfold er vurdert som CO₂-kilder.

Forprosjektet er 50 % finansiert av Norges forskningsråd, under KLIMATEK-programmet. Programkoordinator har vært Asle Lygre (fram til 01.06.98) og Hans-Roar Sørheim, begge fra Christian Michelsen Research AS. Øvrige finansører: Esso Norge, Vestfold Energitjenester, Larvik kommune, Vestfold fylkeskommune samt de faglige prosjektdeltakerne NIVA, NIV, STØ og ANØ.

Nøkkelpersoner i hovedprosjektet har vært:

- Gunnar Fr. Aasgaard (prosjektleder), Avløpssambandet Nordre Øyeren (ANØ)
- Gunnar Strømmen (assisterende prosjektleder), Næringssenteret i Vestfold AS (NIV)
- Torsten Källqvist (faglig leder) og Olav Skulberg, begge NIVA
- Haakon Thaulow (adm. prosjektansvarlig og leder av referansegruppen), NIVA

Resultatene av forprosjektet presenteres i 5 delrapporter og en sammendragsrapport. Stiftelsen Østfoldforskning (STØ) har vært ansvarlig for delrapport 2; *Livsløpsanalyser av CO₂-baserte algeprodukter*. Prosjektmedarbeidere hos STØ har vært:

Oddmund Brekke
Cecilia Askham
Knut Magne Furuheim
Mie Vold

STØ takker NIVA for et interessant oppdrag innenfor et framtidsrettet arbeidsområde.

Prosjektledelsen takker finansørene, som gjennom sin støtte har gjort forprosjektet mulig, og samtlige faglige bidragsytere for god innsats og målrettet arbeid innenfor en stram tidsramme!

Fredrikstad/Kjeller, 19.01.99

Gunnar Fr. Aasgaard
(prosjektleder)

Oddmund Brekke
(delprosjektleder)

Innhold

Sammendrag	6
Summary	8
1. Innledning	9
1.1 Målet for delprosjektet	9
1.2 Aktiviteter	9
2. Generell metodikk (LCA-metode)	10
2.1 Målformulering	11
2.1.1 Formål	11
2.1.2 Systemgrenser	12
2.1.3 Funksjonell enhet	12
2.2 Kartlegging	13
2.3 Beregning og vurdering av miljøpåvirkninger	14
2.3.1 Klassifisering	14
2.3.2 Karakterisering	14
2.3.3 Vekting	15
2.4 Tolkning	15
2.5 Referanser vedrørende generell metodikk	15
3. Produksjon av førtilskudd	17
3.1 Målformulering /funksjonell enhet	17
3.1.1 Målformulering	17
3.1.2 Funksjonell enhet	17
3.1.3 Generelle systemgrenser, forutsetninger og antagelser	17
3.2 Førtilskudd fra alger	18
3.2.1 Systembeskrivelse	18
3.2.2 Kartlegging av data	19
3.2.3 Resultater og diskusjon	21
3.2.4 Referanser vedrørende fôrproduksjon fra mikroalger	24
3.3 Førtilskudd fra soyamel	25
3.3.1 Systembeskrivelse	25
3.3.2 Kartlegging av data	25
3.3.3 Resultater og diskusjon	26
3.3.4 Referanser vedrørende soyamelproduksjon	28
3.4 Førtilskudd fra fiskemel	29
3.4.1 Systembeskrivelse	29
3.4.2 Kartlegging av data	30
3.4.3 Resultater	30
3.4.4 Referanser vedrørende fiskemelframstilling	32
3.5 Produksjon av førtilskudd: Oppsummering	33
4. Produksjon av energi	35
4.1 Målformulering /funksjonell enhet	35
4.1.1 Målformulering	35
4.1.2 Funksjonell enhet	35
4.1.3 Generelle systemgrenser, forutsetninger og antagelser	35
4.2 Biodiesel fra alger	36
4.2.1 Systembeskrivelse	36
4.2.2 Kartlegging av data	36
4.2.3 Resultater	37
4.2.4 Referanser vedrørende framstilling av biodiesel	41
4.3 Hydrogen fra alger	42
4.3.1 Systembeskrivelse	42

4.3.2	Kartlegging av data	43
4.3.3	Resultater	43
4.3.4	Referanser vedrørende hydrogen	46
4.4	Petroleumsdiesel	47
4.4.1	Systembeskrivelse	47
4.4.2	Kartlegging av data	47
4.4.3	Resultater	48
4.4.4	Referanser vedrørende petroleumsdiesel	51
4.5	Sammenligning av de tre produktsystemene	51
5.	Konklusjoner	53

Sammendrag

En livsløpsvurdering (life cycle assessment, LCA) av et produkt er definert som en systematisk kartlegging og vurdering av miljø- og ressurspåvirkninger gjennom hele livsløpet til produktet. Formålet med dette delprosjektet er å vurdere hvilken netto effekt på utslipp av klimagasser man kan ha av å produsere mikroalger basert på industrielle utslipp av CO₂, slik at den reelle klimagassreduksjonen framkommer. Dette for å bedre beslutningsgrunnlaget for den eventuelle videre satsningen på algekulturteknologi i klimagass-sammenheng. Vi har sett på fôr- og energiprodukter fra mikroalger, og sammenlignet disse med sammenlignbare, konvensjonelle produkter. Ut fra målsettingen har vi bare vurdert energiforbruk og utslipp av klimagasser, og begrenset oss til de delene av livsløpet som vi anser som forskjellige for de produktene vi sammenligner.

Studien er en del av en forstudie som skal vurdere potensialet av å produsere alger i større skala. Fordi det er mange muligheter for design av et produksjonsanlegg for alger, har vi måttet velge noen forutsetninger som ikke nødvendigvis samsvarer med de endelige løsninger. Ved å utføre en LCA på et tidlig tidspunkt som dette, innfører en derved en større usikkerhet, men samtidig oppnår en å kunne ta hensyn til resultatene i utviklingen av produksjons-systemene (produktutvikling).

Innenfor fôrområdet er det utført tre vurderinger:

- Mikroalger som dyrefôr
- Grunnlagsanalyse på soyamel
- Grunnlagsanalyse på fiskemel

Livsløpsvurderingene av soyamel og fiskemel er basert på faktisk informasjon basert på gjeldende prosesser, mens livsløpsvurderingene av fôr fra algebiomasse er mer teoretisk fundert, basert på en rekke forutsetninger, slik at resultatene her er mer usikre.

Med de forutsetninger vi har lagt til grunn for algeproduksjon, er det relativt energikrevende å produsere fôr fra algebiomasse i lukkede reaktorer, omtrent dobbelt så høyt som ved produksjon av fiskemel og betydelig høyere enn ved produksjon av soyamel.

Et mulig alternativ til å pumpe kulturen rundt i rørene i høy hastighet, er å bruke såkalte "air-lift"-systemer, som både holder kulturen i suspensjon og sørger for gassutveksling. Det betyr at pumping kan erstattes med gasskompresjon, som krever betydelig mindre energi. Det er sannsynlig at energiforbruket til selve algeproduksjonen derved kan reduseres med opptil 90%. Totalt energiforbruk vil i så fall kunne reduseres til anslagsvis 10 MJ/kg tørrstoff, som er omtrent halvparten av det som kreves for å produsere fiskemel, og i nærheten av det som kreves for å produsere soyamel.

Det må forutsettes at spillvarme kan betraktes som et avfallsprodukt og ikke belaster systemet.

Energiforbruket ved produksjon av alger er hovedsakelig elektrisk energi, mens den i større grad er av fossil opprinnelse ved produksjon av fiskemel og soyamel. Energi til pumping utgjør det største energiforbruket ved produksjon av alger i lukkede reaktorer, når en baserer seg på aktiv pumping av kulturen. Det vil derfor være spesielt viktig å optimalisere systemene for sirkulering av kulturen i et pilotanlegg.

Bidrag til global oppvarming (GWP) ligger på omtrent samme nivå ved produksjon av algebiomasse som ved produksjon av soyamel. Både alger og soyamel bidrar ca. 68% mindre til GWP enn produksjon av fiskemel. Ved produksjon av alger stammer bidraget i all hovedsak fra kunstgjødselproduksjonen. Dersom all kunstgjødsel kan erstattes med for eksempel næringsalter fra avløpsvann, vil utslippene av klimagasser reduseres med mer enn 90%, forutsatt at ikke utnyttelsen av utløpsvann impliserer andre utslipp av klimagasser. Erstatning av soyamel og fiskemel med "algemel" vil da føre

til en reduksjon i utslipp av klimagasser knyttet til fôrmelet med 90-95%. Selve algeproduksjonen bidrar i svært liten grad til utslipp av klimagasser.

Dersom spillvarme inkluderes som en ressurs, vil en med det aktuelle produksjonssystemet få et meget høyt energiforbruk ved algeproduksjonen. Med andre ord forutsetter dette produksjonskonseptet at spillvarmen kan betraktes som et produkt uten verdi (avfall). I dette tilfellet kan spillvarmen ekskluderes fra regnskapet.

Innenfor området energi er det utført tre vurderinger:

- Mikroalger som råstoff for produksjon av biodiesel
- Mikroalger som hydrogenprodusent
- Grunnlagsanalyse på fossilt brensel

Forbruket av energi knyttet til framstilling og distribusjon av petroleumsdiesel utgjør ca. 6,5 % av energiutbyttet. For algebasert hydrogenproduksjon har vi kommet fram til et noe større forbruk, ca. 20% av energiutbyttet når gasseparasjon og distribusjon ikke er inkludert. For produksjon av biodiesel i lukket reaktor basert på pumping av kulturen er energiforbruket betydelig større enn energiutbyttet. Dersom pumping erstattes av "air-lift"-systemer (se ovenfor), eller dyrkingen foregår i åpne dammer, vil det trolig være mulig å få et positivt energiutbytte.

Sammenligningene av de ulike systemene viser at utslipp av CO₂ og andre klimagasser totalt er størst for petroleumsdiesel. Biodiesel kommer ut med 35% lavere påvirkning, og kan reduseres ytterligere ved resirkulering av næringsstoffene. En erstatning av petroleumsdiesel med biodiesel basert på alger vil derfor kunne føre til en reduksjon av klimagassutslippene med opp mot 50%. For begge disse systemene er de fleste bidragene knyttet til framstilling og forbrenning av brenselet. Det er relativt små bidrag fra distribusjon av brensel. Dette gjelder også forbruk av energi. Disse resultatene tyder på at plassering av anlegget og distribusjonsveier er av mindre betydning for miljøprofilen for de to systemene.

Hydrogengass-systemet gir et nærmest neglisjerbart bidrag til globalt oppvarmingspotensial (GWP). Hydrogengass fra algeproduksjon vil kunne bety en reduksjon av GWP på mer enn 90% i forhold til bruk av fossil diesel.

Vi har ikke inkludert distribusjon av hydrogengass til forbruker, siden det ikke finnes noe opplegg for dette i dag. For biodiesel og petroleumsdiesel var som nevnt distribusjonsleddet av relativt liten betydning. Konklusjonene blir derfor sannsynligvis uendret om man inkluderer distribusjonsleddet også for hydrogengass. Vi må også poengtere at hydrogengass-systemet er basert på forutsetninger som ikke er utprøvd i stor skala, og at heller ikke separering av hydrogengass er inkludert i systemet. Det er liten grunn til å tro at separering av gassen vil bidra vesentlig til klimagassutslipp.

Summary

Life cycle assessments (LCA) have been performed on microalgal products, based on a conceptual design of a microalgal plant in Vestfold, Norway. The aim is to assess the net effect on greenhouse gas emissions by utilizing industrial emissions of CO₂ for microalgal production. Six assessments have been performed: Microalgal biomass as animal feed, compared to soy meal and fish meal; production of biodiesel and hydrogen based on microalgae, compared to petroleum diesel.

Several assumptions have been made for this evaluation, which have to be validated in a pilot plant.

The LCA shows that the energy consumption related to the production of algal biomass is relatively high, but is very dependent on plant design. With the most optimal designs, the energy consumption related to production of algal biomass can probably be in the same range as production of soy meal, and approximately half that of fish meal.

If artificial fertilizers can be avoided for the nutrient supply (i.e. by use of waste water), the replacement of soy meal or fish meal with microalgae can result in a reduction of the greenhouse gas emissions related to the feed meal with approximately 90-95%. Artificial fertilizers contribute substantially to greenhouse gas emissions, when the main product is protein, with a high nitrogen content.

Future production of hydrogen from microalgae has a potential to be performed with a reasonably good energy efficiency. Replacement of petroleum diesel with hydrogen produced from algae may reduce the contribution to greenhouse gas emissions by 90-95%. Several biological and technological developments are necessary to achieve this.

It is uncertain whether it is possible to achieve sufficient energy economy for production of biodiesel from microalgae. If achievable, it might lead to a reduction in the contribution to greenhouse gas emissions of approximately 50%, compared to the equivalent consumption of petroleum diesel.

1. Innledning

Stiftelsen Østfoldforskning (STØ) har tidligere gjennomført et forprosjekt på «Biologisk renseanlegg for CO₂» finansiert av KLIMATEK-programmet i Norges forskningsråd og egeninnsats fra Stiftelsen Østfoldforskning. (STØ rapport OR 86/97, desember 1997). Forprosjektet konkluderte med at en videre satsing innenfor CO₂-fiksering i alger bør konsentreres både om selve fikseringen og de produkter algene kan benyttes til. For å sikre at det her oppnås varige klimagass-reduksjoner bør de nye produktene og de eventuelle substituerte produktene vurderes i et livsløpsperspektiv.

På et møte i mars i år ble NIVA og STØ enige om å se nærmere på et samarbeid for å få fram dokumentasjon på den varige klimagass-effekten ved ulike CO₂-baserte algeprodukter. STØ har lang erfaring med livsløpsanalyser og man mente at slike analyser vil styrke beslutningsgrunnlaget for den eventuelle videre satsningen innenfor CO₂-baserte algeproduksjon.

1.1 Målet for delprosjektet

Målet for delprosjektet er:

Gjennomføre livsløpsanalyser av CO₂-baserte algeprodukter og deres substituttprodukter, slik at den reelle klimagassreduksjonen framkommer. Dette for å bedre beslutningsgrunnlaget for den eventuelle videre satsningen på algekulturteknologi i klimagass-sammenheng.

1.2 Aktiviteter

Det er gjennomført livsløpsanalyser innenfor to hovedproduktområder: energi og fôr. Innenfor energiprodukter vil substituttproduktene i hovedsak ha fossil opprinnelse, mens innenfor fôrområdet vil de tradisjonelle produktene være biologisk basert. På denne måten kan analysene i tillegg til å danne grunnlag for å sammenligne produkter innen samme produktområde, også vise eventuelle forskjeller mellom ulike produktområder.

På energi er det utført tre vurderinger:

1. Mikroalger som råstoff for produksjon av biodiesel
2. Mikroalger som hydrogenprodusent
3. Grunnlagsanalyse på fossilt brensel

Innenfor fôrområdet er det utført tre vurderinger:

4. Mikroalger som dyrefôr
5. Grunnlagsanalyse på soyamel
6. Grunnlagsanalyse på fiskemel

2. Generell metodikk (LCA-metode)

En livsløpsvurdering (life cycle assessment, LCA) av et produkt er definert som en systematisk kartlegging og vurdering av miljø- og ressurspåvirkninger gjennom hele livsløpet til produktet. En livsløpsvurdering tar utgangspunkt i et produktssystem, og vurderer miljø- og ressursmessige forhold ved dette systemet gjennom hele produktets livsløp, fra "vugge til grav".

Tre sentrale poeng ved en livsløpsvurdering er:

- man ser på hele det tekniske systemet som skal til for å frembringe, bruke og avhende produktet (systemanalyse) og ikke bare på produktet som sådant
- man ser på hele materialsyklusen langs produktets verdikjede og ikke bare på en enkel operasjon eller bearbeidingsprosess for et produkt (f.eks. råstoffraffinerings).
- man ser på alle relevante miljø- og helsepåvirkninger for hele systemet og ikke bare på en enkelt miljøfaktor (f.eks. utslipp av løsemidler eller støv).

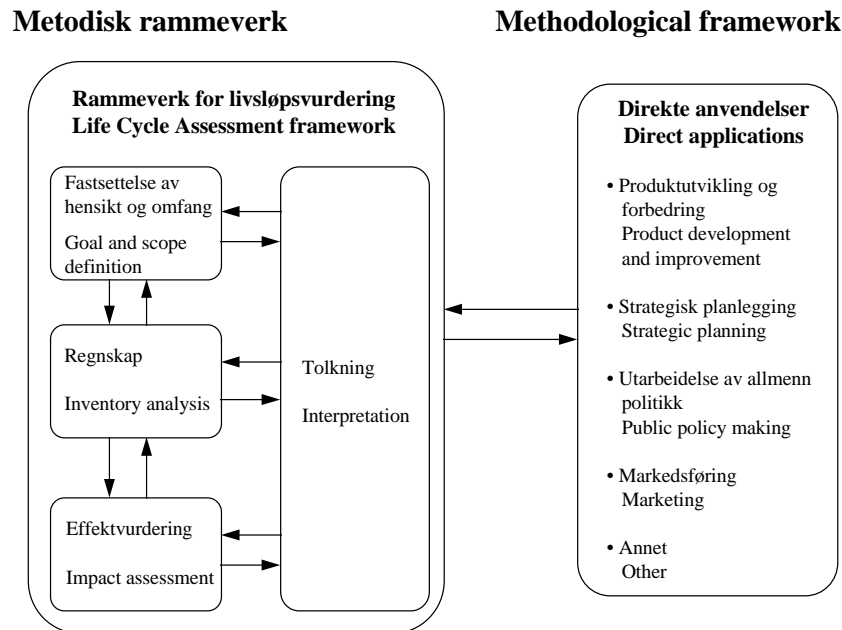
Dette gir en mer helhetlig tilnærming til helse-, miljø- og ressursproblemene enn det vi ofte har vært vitne til tidligere, der enkeltfaktorer eller enkeltstående prosesser har vært fokusert. Avhengig av hvilken målsetting man har, kan systemgrensene snevres inn, og man kan velge å bare se på visse typer påvirkninger. Dette må framgå av studiens målformulering. Hvis man for eksempel skal sammenligne forskjellige produktsystemer hvor man kan anta at deler av livsløpet er identisk, kan man velge å ikke inkludere disse delene i livsløpsvurderingene. For eksempel kan det for landbruksprodukter brukes et konsept med "cradle to farmgate" i stedet for "cradle to grave", dersom det fokuseres på produksjonssystemene (Audsley 1997).

En livsløpsvurdering kan sette søkelys på tre sentrale spørsmål:

- Hvilke er de viktigste miljøproblemer for et system?
- Hvor i livsløpet oppstår de viktigste miljøproblemene?
- Hva er det største potensiale for produktforbedring av et system ut i fra en miljøeffektiv synsvinkel?

Den metodiske tilnærming som ligger til grunn for denne livsløpsvurderingen er basert på retningslinjer og anbefalinger i «Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment» (Lindfors et al 1995a). Manualen er et resultat av et 3-årig nordisk forskningsprosjekt finansiert av Nordisk Ministerråd. I tillegg er det utarbeidet ISO-standard for rammeverket til en LCA. ISO's forslag til rammeverk for en LCA er beskrevet i Figur 2.1.

1. Målformulering (fastsettelse av hensikt og omfang)
2. Kartlegging (regnskap)
3. Effektvurdering («impact assessment»)
 - klassifisering (relatere utslipp og innhold av miljøfarlige stoffer til relevante påvirkningskategorier)
 - karakterisering (kvantifisere bidragene fra de ulike utslippene til påvirkningskategorier)
 - vekting (foreta en vekting mellom de ulike utslippene eller påvirkningskategoriene)
4. Tolkning/systemforbedring («interpretation»)



Figur 2.1 ISO's forslag til metodisk rammeverk for LCA

Hver av fasene deles inn i underaktiviteter, som er nærmere beskrevet i hvert av de neste avsnittene. I en fullstendig livsløpsvurdering skal alle de fire elementene inngå (Consoli et al 1993).

2.1 Målformulering

Første trinn i livsløpsvurderingen er målformulering. I målformuleringen inngår tre elementer som er avgjørende for resultatene av vurderingen:

- Formål med studien
- Systemgrenser
- Funksjonell enhet

2.1.1 Formål

Som i et hvert prosjekt er det viktig å definere formålet for en livsløpsvurdering. Så langt har et stort flertall av gjennomførte livsløpsvurderinger vært sammenlignende studier av ulike emballasjetyper. Slike studier har til dels vært initiert av ulike nasjonale myndigheter, og har i mange tilfeller ledet til bedriftsinitierte studier, som et ledd i argumentasjon mot mulige myndighetstiltak. Et antall livsløpsstudier har også blitt gjennomført som interne studier i enkeltbedrifter, som ledd i miljøstrategiske evalueringer samt produktutvikling.

I denne studien er formålet å vurdere hvilken netto effekt på utslipp av klimagasser man kan ha av å produsere mikroalger basert på industrielle utslipp av CO₂. Vi har sett på fôr- og energiprodukter fra mikroalger, og sammenlignet disse med sammenlignbare, konvensjonelle produkter. Ut fra målsettingen har vi bare vurdert energiforbruk og utslipp av klimagasser. Vi har bare sett på de delene av livsløpet som vi anser som forskjellige for de produktene vi sammenligner. Resultatene av vår studie kan derfor ikke sammenlignes med studier som har et annet omfang.

Studien er en del av en forstudie som skal vurdere potensialet av å produsere alger i større skala. Fordi det er mange muligheter for design av et produksjonsanlegg for alger, har vi måttet velge noen forutsetninger som ikke nødvendigvis samsvarer med de endelige løsninger. Ved å utføre en LCA på

et tidlig tidspunkt som dette, innfører en derved en større usikkerhet, men samtidig oppnår en å kunne ta hensyn til resultatene i utviklingen av produksjons-systemene (produktutvikling).

2.1.2 Systemgrenser

En livsløpsvurdering tar utgangspunkt i et produktsystem, dvs. et teknisk/økonomisk system som gjør det mulig å omgjøre innsatsfaktorer (råvarer, energi, m.m.) til et produkt ved å:

- produsere produktet
- distribuere produktet ut til forbrukere
- anvende produktet
- sikre avfallshåndtering av produktet
- forstå all transport mellom de ulike enhetene i systemet.

I livsløpsvurderingen studeres alle utvekslinger mellom det teknisk/økonomiske systemet og økologiske systemer, både inngående strømmer (energi og råvarer) og utgående (avfall, forurensning til luft og vann, energitap m.m.).

For å kunne sammenligne resultatene fra ulike produkter og ulike analyser er det viktig at systemgrensene fastsettes på et likeverdig grunnlag, dvs. at man har like kriterier for avgrensning av produktsystemet. I flere livsløpsvurderinger er det påvist forskjellige resultater for de samme to produktene, først og fremst fordi produktsystemene er definert forskjellig.

Forhold som bør tas i betraktning ved fastsettelse av systemgrenser kan deles inn i to grupper:

- Kriterier for hvilke elementer som skal inkluderes i eller holdes utenfor vurderingen (f.eks. alle stoffer som inngår med mer enn 1 vekt-%, 1% av energiforbruk eller 1% av en relevant miljøpåvirkning inkluderes)
- Kriterier for hvilken kvalitet det skal være på data som skal samles inn (f.eks. hvor gamle kan dataene være, hvilket geografisk område skal de være gyldige for, tekniske begrensinger for data, stedsspesifikke data, nøyaktighet, antagelse som kan legges til grunn, osv.)

Dette er alle forhold som kan påvirke det endelige resultatet, og de bør derfor inkluderes når hensikten med studien vurderes.

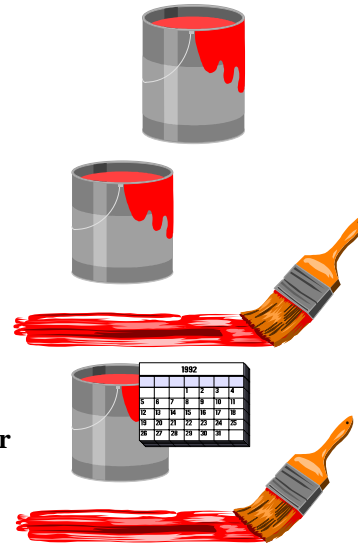
2.1.3 Funksjonell enhet

Den funksjonelle enhet er den enhet som angir et produkts ytelse i forhold til en bestemt brukers krav. Med utgangspunkt i maling, kan den funksjonelle enhet være f.eks. 100 l maling. Denne funksjonelle enheten sier ingenting om bruken av produktet. Hvis man skal sammenligne ulike produkter, er det viktig at den funksjonelle enhet gjenspeiler funksjonen til produktet. Ulike typer maling kan ha ulik dekkevne. Det vil være riktigere å bruke 1 m² malt flate som funksjonell enhet. Dette fanger imidlertid ikke opp eventuell forskjell i holdbarhet mellom to ulike malingsprodukter. Det vil derfor i dette tilfellet være riktigere å la den funksjonelle enheten beskrive funksjonen overflatebehandling, godt vedlikeholdt over et tidsintervall.

Den funksjonelle enheten vil i neste omgang fastlegge materialstrømmen av råvarer og produkter oppstrøms og nedstrøms for bruksfasen. F.eks. vil den funksjonelle enheten for overflatebelegg godt vedlikeholdt i 50 år, bestemme hvor store mengder råvarer og ressurser som kreves for å produsere, vedlikeholde og avfallshandtere produktet. Materialflytanalysen viser hvilke strømmer som er store og viktige, og hvilke som vektmessig er av mindre betydning i forhold til innsamling av data for produksjon av råvarene. Figur 2-2 viser ulike tilnærminger til valg av funksjonell enhet dersom en

ønsker å vurdere maling i et livsløpsperspektiv. Alle masse- og energistrømmer normeres i forhold til den funksjonell enheten.

- **100 l maling**
- **1 m² malt flate**
- **1 m² malt flate, vedlikehold i 10 år**



Figur 2-2 Ulike tilnærminger til funksjonell enhet for maling som overflatebehandling

Valg av riktig funksjonell enhet vil ofte være av sentral betydning for resultatet av en sammenlignende studie. En funksjonell enhet er et uttrykk for hvor effektivt et produkt løser et spesifikt behov for en bruker, gjerne kvantifisert i forhold til den mengde av et produkt som går med til å dekke dette behovet.

2.2 Kartlegging

I kartleggingsfasen blir data for energiforbruk, bruk av materialer, utslipp til luft og vann og avfall gjennom hele livsløpet kartlagt. De innsamlede data blir normalisert i forhold til den funksjonelle enheten. For hver systemenhet blir utslipp, avfallsmengder og energiforbruk per funksjonell enhet beregnet.

Et sentralt metodisk problem som kan oppstå i kartleggingsfasen, er hvordan miljø- og ressurspåvirkningene skal allokere i de tilfeller en prosess resulterer i flere produkter. Problemet oppstår når det ene produktet inngår i det vurderte produktsystemet, mens det andre går ut. Det er flere måter å finne allokeringfaktorer på. Allokeringen kan f.eks. baseres på massefordeling, økonomisk verdi av produktene, biologisk allokering (ressursbehov), 50/50- fordeling osv. (Lindfors et al 1995a). Utkast til ISO 14040 (ISO 14040-14043) anbefaler at allokering i størst mulig grad skal unngås eller minimeres, for eksempel gjennom utvidelse av systemgrensen. Når allokering ikke kan unngås, bør allokeringen skje på grunnlag av fysikalske eller økonomiske forhold mellom produktene.

I dette prosjektet er data systematisert og analysert ved hjelp av dataprogrammet LCA Inventory Tool, som er utviklet av Chalmers Industriteknik, Gøteborg (CIT 1994).

2.3 Beregning og vurdering av miljøpåvirkninger

Ved vurdering av miljøpåvirkninger brukes det ofte litteraturdata og gjennomsnittsdata basert på produkter der opprinnelse er dårlig dokumentert eller lite gjennomslukt. En vurdering av miljøpåvirkninger i en LCA vil normalt ikke være basert på stedsspesifikke data og forhold. En livsløpsvurdering kan som regel ikke vurdere annet enn de potensielle påvirkninger et produktsystem kan ha på sine omgivelser. Dette er et viktig utgangspunkt for å forstå prinsippene og metodene for vurdering av miljøpåvirkninger i livsløpsvurderingen. I en livsløpsvurdering vil en for alle typer påvirkninger forsøke å vurdere de maksimale påvirkninger et system kan ha på omgivelsene.

Vurdering av miljøpåvirkninger i en livsløpsvurdering består av følgende tre elementer:

- *Klassifisering*: relatere ressursbruk, avfall/utslipp og innhold av miljøfarlige stoffer til relevante påvirkningskategorier
- *Karakterisering*: kvantifisere bidragene fra de ulike utslippene til påvirkningskategorier (f.eks. konvertere NO_x, HCl (g) etc. til SO₂-ekvivalenter)
- *Vekting*: foreta en vektning mellom de ulike utslippene eller påvirkningskategoriene.

2.3.1 Klassifisering

I klassifiseringstrinnet blir alle inngående og utgående material- og energistrømmer knyttet opp mot de kategorier av miljøpåvirkninger hvor det kan oppstå primæreffekter, ut fra kjente dose-respons sammenhenger. I metodene for livsløpsvurderinger er det utarbeidet oversikter som viser hvilke typer miljøpåvirkninger som bør vurderes (Lindfors et al 1995b-c). Klassifiseringstrinnet er følgelig en kvalitativ vurdering av hvilke miljøpåvirkninger som er relevante for senere kvantitative beregninger.

2.3.2 Karakterisering

Neste trinn innebærer at alle bidrag til de miljø- og ressurspåvirkninger som er påvist relevante i klassifiseringen, så langt mulig blir tallfestet ut fra kjente fysisk/kjemiske og økologiske modeller. I dette trinnet øker usikkerheten i livsløpsvurderingen betydelig, fordi det for mange typer påvirkninger hersker stor usikkerhet i omregningsfaktorer basert på dose/respons-forhold, og fordi det for mange påvirkninger mangler aksepterte faktorer for omregning av utslipp til miljøpåvirkninger. De miljøpåvirkninger som det i dag er best grunnlag for å gjennomføre en evaluering for, synes å være forbruk av fornybare og ikke fornybare ressurser, globale klimaeffekter, fotokjemisk oksidasjon, forsurening og gjengroing av vann og vassdrag. For de andre kategoriene blir beregningene i mange tilfeller både usikre og vanskelig sammenlignbare. I tillegg gjøres vurderinger av forbruk av ikke fornybare ressurser i form av fossilt brensel, samt produksjons- og spesialavfall.

I denne studien er bare påvirkning på global klimaendring (globalt oppvarmingspotensial, GWP) og forbruk av energi vurdert siden dette er fastsatt i målformuleringen. Følgende faktorer er brukt for omregning fra mengde utslipp til GWP:

1 kg CO ₂ =	1,0 kg GWP (referanse)
1 kg NO _x =	7,0 kg GWP
1 kg N ₂ O =	270 kg GWP
1 kg CH ₄ =	26 kg GWP
1 kg VOC =	11 kg GWP
1 kg CO =	3 kg GWP

2.3.3 Vekting

I mange tilfeller vil det være ønskelig å komme frem til en samlet vurdering av ulike miljøpåvirkninger fra et produktsystem, eller å kunne rangere de ulike miljøpåvirkningene mot hverandre etter viktighet. En slik vekting vil alltid inneholde et element av subjektivitet og verdivalg fordi fastsettelsen av verdiene på vektingsparametrene aldri kan være basert på et strengt naturvitenskapelig metodegrunnlag. Vektingstrinnet er derfor et av de trinnene i livsløpsvurderingen som er kommet kortest i metodeutviklingen, og som også er mest omdiskutert.

Vekting er ikke inkludert i denne studien fordi det i målsetningen for forstudien er bestemt at miljøvurderinger skal baseres på global klimaendring og energibruk.

2.4 Tolkning

Som vist i tidligere avsnitt, er ett viktig formål med å gjennomføre en livsløpsvurdering, å kunne gi et bedre beslutningsunderlag for forbedring av produktsystemer. Livsløpsvurderingen vil kunne gi et langt mer helhetlig bilde av hvor i produktsystemet de største miljøpåvirkningene oppstår, og følgelig et grunnlag for å vurdere hvor det er mest å hente på en miljøforbedring.

I forberedelsen til utvikling av standarder for livsløpsvurderinger under ISO, er det da også påpekt at forbedringstrinnet er det trinnet som helt mangler dokumentasjon. Dette var utgangspunkt for oppstartning av bl.a. et større nordisk prosjekt for miljøtilpasset produktutvikling, der 25 større nordiske bedrifter har samarbeidet om å utvikle metoder, beslutningsverktøy og utdanningsprogrammer innenfor dette området, og gjennomføre en lang rekke case-prosjekter for å komme frem til mer miljøtilpassede produkter. Grunnlaget for metodene er en generell modell for integrert produktutvikling som stammer fra Dansk Teknisk Høgskole (Myrup Andreassen & Hein 1986). Erfaringene fra dette prosjektet har bl.a. ledet frem til utvikling av en håndbok i miljøtilpasset produktutvikling (Hanssen et al 1995, Hanssen 1997), der informasjon og data fra livsløpsvurdering av produkter integreres i de ulike fasene og beslutningstrinnene i produktutviklingsmodellen. I det siste utkastet til standard (ISO 14040-14043), har ISO foreslått å ikke inkludere forbedringstrinnet i metodikken. Dette begrunnes med at LCA er et informasjonsverktøy, som gir input til ulike beslutningsprosesser. I etterkant benytter man andre metodiske tilnærminger for å nytte seg LCA-informasjonen.

2.5 Referanser vedrørende generell metodikk

- Audsley E. (coord.) 1997. Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture. European Commission DG VI Agriculture, Final Report Concerted Action AIR3-CT94-2028. 139 pp.
- CIT 1994. "*LCA Inventory Tool, Program versjon 2.01c*", Chalmers Industriteknik, Göteborg
- Consoli, F., Allen, D., Boustead, I., Fava, J., Franklin, W., Jensen, A.A., Oude, N. de, Parrish, R., Perriman, R., Postlethwaite, D., Quay, B., Séguin, J. and Vigon, B. (Eds.) 1993. «Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practise'», SETAC, Brussels, Belgium.
- Hanssen, O.J., Rønning, A. & Rydberg, T. 1995. «Sustainable Product Development. Methods and Experiences from Case Projects», Final report from the NEP project, Østfold Research Foundation OR.28.95, Fredrikstad.
- Hanssen, O.J. 1997. «Sustainable Industrial Product Systems - Dr.tech.thesis», STØ, AR.20.97, Fredrikstad
- ISO 14040-14043 (As status per October 1998)

- Lindfors, L.G., Christiansen, K., Hoffman, L., Virtanen, Y., Juntilla, V., Hanssen, O.J., Rønning, A., Ekvall, T. & Finnveden, G. 1995a. "*Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment*", Nord 1995:20, København.
- Lindfors, L.G., Christiansen, K., Hoffmann, L., Virtanen, Y., Juntilla, V., Hanssen, O.J., Rønning, A., Ekvall, T. & Finnveden, G. 1995b. «LCA Nordic Technical Reports No 10 and Special Reports No 1-2», Tema Nord 1995:503, København. og
- Lindfors, L.G., Christiansen, K., Hoffmann, L., Virtanen, Y., Juntilla, V., Hanssen, O.J., Rønning, A., Ekvall, T. & Finnveden, G. 1995c. «LCA Nordic Technical Reports No 1-9.» Tema Nord 1995: 502, København.
- Myrup Andreasen, M. & Hein, L. 1986. «Integrert produktutvikling», Universitetsforlaget, Oslo.

3. Produksjon av fôrtilskudd

3.1 Målformulering /funksjonell enhet

3.1.1 Målformulering

I denne delen av studien har vi sammenlignet produksjon av fôrtilskudd basert på algebiomasse med tilsvarende fôrtilskudd basert på soyamel og fiskemel. Effekter på global klimaendring og energibruk er sammenlignet. Bakgrunnen for at man valgte dyrefôr som eksempel på bruk av algebiomasse, er at dette er en type produkt som er utprøvd og tilgjengelig, samt at en i dette tilfellet bruker hele biomassen som et enkelt produkt. Både i fôrsammenheng og når det gjelder andre produkter, kan man alternativt trekke ut spesielt verdifulle komponenter av algebiomassen. For å kunne gjøre en livsløpsvurdering av slike spesialprodukter ville man samtidig måtte ta stilling til bruken av restbiomassen. I en tidlig evaluering som i dette prosjektet, hvor hovedhensikten er å vurdere selve produksjonssystemet, er det spesielt gunstig å velge et produkt som utnytter hele biomassen.

Proteininnholdet i algebiomasse kan være meget høyt (60-70%), og proteinkvaliteten er god (Becker 1994). I tillegg inneholder de fleste alger viktige innslag av verdifulle omega-3 og omega-6 fettsyrer samt betydelige mengder av vitaminer, mineraler, pigmenter og antioksydanter, som sannsynligvis kan være av betydning for den totale fôr kvaliteten. Mengdene av disse stoffene varierer mye avhengig av artsvalg og dyrkingsbetingelser.

Bakgrunnen for at man har valgt å sammenligne med soyamel og fiskemel er at disse produktene brukes som tilskudd i dyrefôr for å øke fôrverdien, spesielt for å øke proteininnholdet. Det er utenfor målet av dette delprosjektet å vurdere mulig kvalitetsendring av animalske produkter som følge av økt bruk av algebiomasse. Vi tar utgangspunkt i at det i litteraturen er vist at en betydelig andel av fiske- og soyamel kan erstattes av algebiomasse uten at veksten av dyrene påvirkes (Becker 1994). Vi tar ikke stilling til hvilken innblandingsprosent som er optimal.

Studien er basert på litteraturtall, diverse innhenting av informasjon og STØ's tidligere erfaringer.

3.1.2 Funksjonell enhet

Den funksjonelle enhet er den enhet som angir et produkts ytelse i forhold til en bestemt brukers krav. Den funksjonelle enheten vil fastlegge materialstrømmen av råvarer og produkter oppstrøms og nedstrøms for bruksfasen. Materialflytanalysen viser hvilke strømmer som er store og viktige, og hvilke som vektmessig er av mindre betydning i forhold til innsamling av data for produksjon av råvarene.

Den funksjonelle enhet for de tre livsløpsvurderingene i denne delen av prosjektet er framstilling av 1 kg fôrtilskudd beregnet som tørrstoff, basert på henholdsvis:

- Algebiomasse
- Soyamel
- Fiskefôr

3.1.3 Generelle systemgrenser, forutsetninger og antagelser

Avgrensninger mot naturen:

- I alle tre systemene inngår CO₂ som den primære karbonkilden, og CO₂ blir frigjort i samme grad når sluttproduktet er konsumert. CO₂ som inngår i algeproduksjonen er av fossil opprinnelse (industriutslipp), men siden denne blir frigjort på samme måten etter konsum av sluttproduktet, betyr dette at en bare får en forsinkelse i utslippet av CO₂. Opptaket av CO₂ som inngår som råstoff til biomassen blir derfor nulltet ut mot frigivelse seinere i livsløpet og blir ikke tatt med i regnskapet.
- Energibruk knyttet til fiskens vekst i det åpne hav er betraktet som en del av det naturlige system, og er ikke tatt med i vurderingen. Likeledes er ikke algenes og soyaplantenes opptak av solenergi med i vurderingen.

Avgrensninger for systemet (cut-off criteria):

- Systemet stopper ved produksjon av ferdig tørket fôrtilsetning. Det antas at innblanding i fôret, pakking, distribusjon og bruk vil være likt for de tre fôrproduktene. Basert på tilgjengelig informasjon antas det også at de tre fôrproduktene vil ha samme fôrverdi (se kapittel 3.3.1)

Avgrensninger mot andre produkters livsløp:

- Produksjon av bygninger og teknisk produksjonsutstyr er ikke med i sammenligningen mellom produktsystemene.

3.2 Fôrtilskudd fra alger

3.2.1 Systembeskrivelse

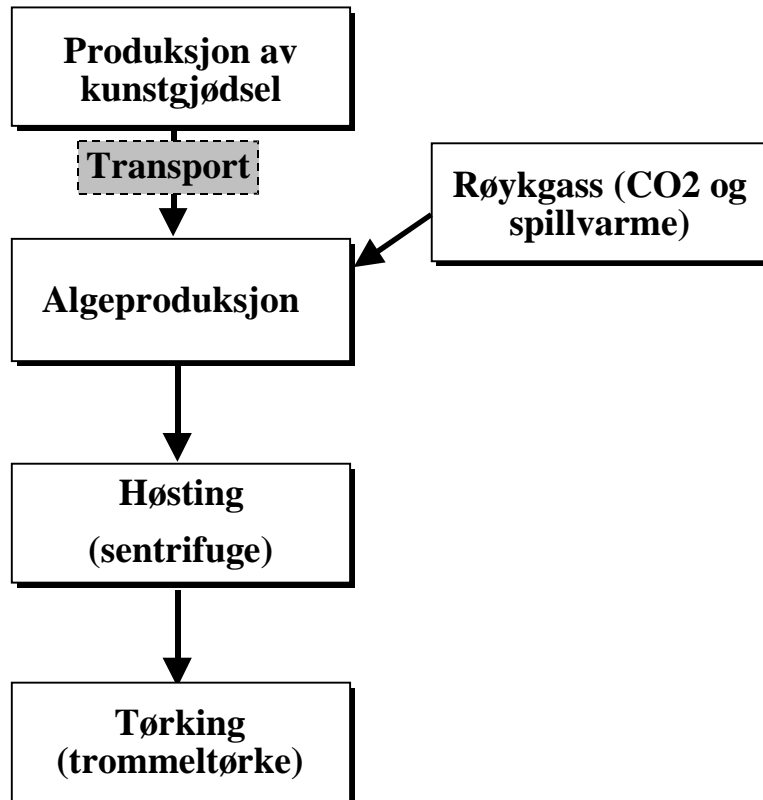
Som utgangspunkt for vurderingen har vi ikke kunnet basere oss på noe eksisterende anlegg. Siden formålet med prosjektet er å vurdere mulighetene for å bygge et algekulturanlegg i Vestfold, har vi tatt utgangspunkt i en slik lokalisering. Vi har også tatt utgangspunkt i tilgjengelig spillvarme til produksjonsprosessen basert på data for røykgass fra Esso's oljeraffineri på Slagentangen. I all hovedsak vil vurderingen også være gyldig for andre lokaliteter, forutsatt tilnærmet samme lys- og temperaturforhold, og tilgang på CO₂ og spillvarme.

Produksjonsanlegget for alger var først tenkt basert på et lukket reaktorsystem av rørtypen, uten tildekking med veksthus. Beregninger av varmetap over rørene, ved en gjennomsnittlig temperaturgradient på 15°C, viser at varmetapet ved konveksjon ville overstige beregnet tilgjengelig varme i røykgassene fra Esso Slagentangen. Det store varmetapet skyldes at reaktorene vil fungere som en stor varmeveksler. Samlet overflate for varmeutveksling blir ca. 50 000 m². Det eksakte varmetapet avhenger av mange faktorer i tillegg til temperaturgradienten, som for eksempel vindhastighet, nedbør og geometriske forhold. Med for eksempel en vindhastighet på 5 m/s, uten å ta hensyn til nedbør, kan varmetapet komme til å ligge på ca. 500 W/m². Samlet varmetap på hele anlegget vil da bli ca. 25 MW. Varmetap og tilført varme ved stråling er ikke inkludert i disse beregningene.

Konseptet med lukket rørreaktor forutsetter derfor en av to løsninger:

- 1) Oppvarming sløyfes, slik at temperaturen vil bli tilnærmet lik omgivelsestemperaturen. I følge en modellering utført på NIVA vil dette føre til en reduksjon i produksjonen på ca. 50% (se delrapport 3). Dette er basert på temperaturdata for Slagentangen fra Meteorologisk Institutt (DNMI).
- 2) Veksthus bygges over anlegget. Varmetapet blir da betydelig redusert og det vil være mulig å holde 25°C gjennom sesongen ved hjelp av en mindre andel av energien i røykgassene.

En løsning med bruk av veksthus er valgt, fordi en 50% reduksjon i produksjonen anses som uakseptabel.



Figur 3.1.1. Produktre for framstilling av tørrfôr fra algebiomasse

3.2.2 Kartlegging av data

Data brukt i livsløpsvurderingene er basert på tilgjengelig litteratur, teoretiske beregninger, opplysninger fra utstyrslleverandører og STØ's tidligere erfaringer.

Forutsetninger og antakelser:

Kunstgjødsel:

- Data er basert på kunstgjødselproduksjon ved Norsk Hydro og et vektforhold mellom nitrogen, fosfor og kalium (N:P:K) = 21 : 4 : 10. Nitrogen er antatt tilført som ammoniumnitrat.
- Det er antatt at eventuell tilførsel av andre næringsstoffer (sporstoffer) vil være neglisjerbart i forhold til nitrogen, fosfor og kalium, og er ikke inkludert i beregningene.
- Vi har antatt 10% nitrogeninnhold i algene. Dette tilsvarer et proteininnhold på ca. 60% i tillegg til enkelte andre nitrogenholdige forbindelser. Mengde kunstgjødsel tilført er basert på dekning av nitrogenbehovet.
- Det er antatt 99% utnyttelse av tilført næring.

CO₂:

- CO₂ er forutsatt tilført som urensset røykgass og er ikke inkludert som en ressurs.
- Røykgassen inneholder 9% (volumprosent) CO₂.

Vanntilførsel:

- Det er antatt at 75% av vanntilførselen er resirkulert vann fra høsteprosessen.
- Det er antatt at systemet er basert på ferskvann.
- Energiforbruk for tilførsel av vann utenfra er ikke inkludert, og er sannsynligvis ignorerbart i forhold til pumping for intern sirkulering.

Algeproduksjon:

Produksjonssystem:

- Totalt grunnareal 1 hektar for produksjon (ikke inkludert areal til bygninger og tekniske installasjoner).
- Lukket rørsystem i enheter på 1000 liter som hver dekker 15 m² (666 m³ per hektar)
- Rørdiameter 5 cm
- Gjennomsnittlig produksjon 20 g tørrvekt /m²/dag (200 kg/hektar/dag) i produksjonssesongen
- Produksjonssesong Uke 10 – Uke 40 (217 dager per år)

Varmeenergi:

- Gjennomsnittlig døgnmiddeltemperatur utendørs i vekstsesongen (mars – oktober) er ca. 10°C (data for Slagentangen fra Meteorologisk Institutt, klimaavdelingen).
- Temperatur på algekulturen 25°C, basert på tilnærmet optimal veksthastighet av aktuelle algearter.
- Veksthus er basert på enkel laminatduk med U-verdi 6,0 (FG System, Fredrikstad)
- Bare varmetilførsel til å dekke varmetap gjennom veksthuset er inkludert (ikke varmetap gjennom vannutslipp som kan holdes på et lavt nivå ved hjelp av varmevekslere).
- Tilgjengelig spillvarme er basert på 228 tonn røykgass per time med temperatur 170°C til 330°C (data fra Esso Slagentangen).
- Spillvarme er i utgangspunktet antatt å være av null verdi ("avfall"), som betyr at den ikke skal inkluderes som en ressurs. Som alternativt scenario har vi inkludert spillvarme som ressurs.

Elektrisk energi:

- Elektrisk energi er basert på norsk gjennomsnittlig el-forsyning.
- Energi til pumping (sirkulering) og CO₂-tilførsel er basert på data fra et pilotanlegg i Elbingerode, Tyskland (Preussag): For sirkulering av 6000 liter brukes 14-18 kWh/dag, og for CO₂-tilførsel 4,4 kWh/dag. Disse tallene er basert på 12 timers daglig drift. De oppgir en meget høy produktivitet, 75 g/m²/dag. Vår utregning er basert på samme energiforbruk til pumping (16 kWh/6000 l/dag) og tilførsel av CO₂ per volumenhet.
- For opprettholdelse av kulturen gjennom vinteren, forutsetter vi at bare et lite volum (0,5%) holdes i gang med en minimal belysning (10 µE/m²/s) for å opprettholde positiv energibalanse i algene. Energiforbruket blir da neglisjerbart, men er inkludert.

Høsting:

- Antatt tetthet av kulturen ved høsting er 1 g tørrvekt/liter (0,1 %).
- Høsting av kulturen er basert på sentrifugering med "nozzle centrifuge". Energibehov er anslått til 0,8 kWh/m³ ved oppkonsentrering opp til 15% tørrvekt (Mohn, 1980).

Tørking:

- Trommeltørking med trommeltemperatur (overflate) 130°C (Sinchumpasak, 1980).
- Tørket produkt med vanninnhold på 2%.
- Det kreves 1,9 tonn damp per dag ved 6-7 bar (temperatur ca. 160°C) (Simon Dryers Ltd.)
- Energibehov til varme antas dekket av spillvarme.
- Drift av motor krever 5,5 kW.

Forutsetninger og antagelser som er lagt til grunn for vurderingen er oppsummert i Tabell 3.1.1

Livsløpstrinn			Forutsetninger	Kilde
Produksjon av kunstgjødsel		Prosess	Nitrogen som ammoniumnitrat. Produksjon av algebiomasse med 10% N.	Hydro Agri Norge
		Transport	Frakt med bil fra Porsgrunn til Slagentangen	STØ's transport-database
Alge-produksjon	Rørreaktor	Prosess	Produktivitet 20 g/m ² /dag Volum 1 m ³ pr. 15 m ² El-forbruk Varmebehov (tap over veksthus)	NIVA APL Preussag FG systemer
Høsting	Sentrifuge	Prosess	"nozzle centrifuge", oppkonsentering fra 0,1 –15% tørstoff	Mohn 1980
Tørking	Trommel-tørke	Prosess	Tørking fra 15 til 98% tørstoff	Simon Dryers Ltd.
Distribusjon Bruk			Ikke inkludert	
			Ikke inkludert	

Tabell 3.1.1: Forutsetninger og antagelser for produksjon av fôr fra mikroalger

3.2.3 Resultater og diskusjon

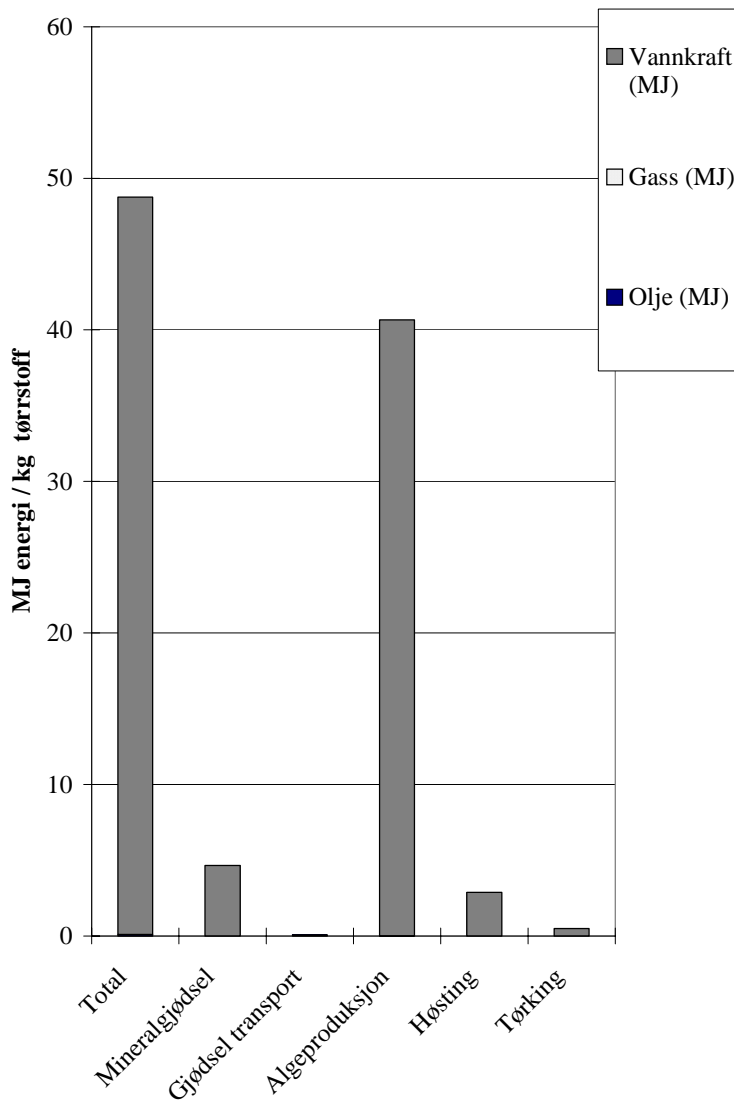
Energiforbruket knyttet til produksjon av algebiomasse er framstilt i Figur 3.1.2. Den totale energimengden som inngår i produksjonen av 1 kg algebiomasse (tørstoff) er beregnet til ca. 48 MJ, når behovet for spillvarme ikke er inkludert. Forbruket er nærmest i sin helhet basert på elektrisk energi, som inngår både ved produksjon av kunstgjødsel, drift av produksjonsanlegget, sentrifugering og tørking.

Det klart viktigste bidraget til energiforbruket er fra pumping av algekulturen, som er nødvendig for sirkulering i anlegget. Det er betydelig usikkerhet knyttet til dette anslaget. Andre tilgjengelige data (APL 1998) viser betydelig høyere energiforbruk. Når det gjelder tallene vi har basert oss på fra Preussag AG, er dette verdier fra et pilotanlegg i relativt stor skala med dyrking av grønnalgen *Chlorella*. De anslår selv at energiforbruket kan reduseres med 50% ved oppskalering. Videre er disse tallene basert på en betydelig høyere produksjon enn vi har brukt i våre beregninger. Vi har brukt "worst case" og anslått at energi til pumping per volumenhet er den samme uavhengig av produktivitet. Det bør være en mulighet at vi, med en lavere produktivitet, kan redusere intensiteten på sirkuleringen og derved energiforbruket. Dette må testes ut i forhold til aktuelle algearter. Selv om Preussag på grunn av høyere produktivitet kommer fram til noe lavere energiforbruk til pumping (per enhet biomasse produsert), viser også deres tall at pumping utgjør det største energiforbruket i produksjons-prosessen ved dyrking i lukkede reaktorer. Det vil derfor være spesielt viktig å optimalisere systemene for sirkulering av kulturen i et pilotanlegg.

Et mulig alternativ til å pumpe kulturen rundt i rørene i høy hastighet, er å bruke såkalte "air-lift"-systemer, som både holder kulturen i suspensjon og sørger for gassutveksling. Det betyr at pumping kan erstattes med gasskompresjon, som krever betydelig mindre energi. Tredici et al (1998) har beregnet energiforbruket til gasskompresjon for et slikt system til å være 44,4 kJ/m²/dag. Omregnet til våre forhold, ville dette bety et energiforbruk på 2,2 MJ/kg tørrvekt, med andre ord ca. 95% lavere enn det energiforbruket vi har lagt til grunn når en baserer systemet på pumping. Fordi Tredici har basert sine tall på et system med liggende rørreaktorer og derfor en mindre reaktorflate per arealenhet enn vi har basert oss på, kan vi ikke direkte bruke disse tallene i vårt system. Energiforbruket til ekstern vanntilførsel og innblanding av nærings-salter vil antakelig heller ikke være neglisjerbart. Det er likevel sannsynlig at energiforbruket til selve algeproduksjonen kan reduseres med opptil 90% ved bruk av "air-lift"-systemer. Totalt energiforbruk vil i så fall kunne reduseres til anslagsvis 10 MJ/kg tørstoff.

Dyrking i åpne dammer (med veksthus over) med sirkulering ved hjelp av skovlhjul vil kraftig redusere energiforbruket til sirkulering, når en sammenligner med pumping i lukkede reaktorer.

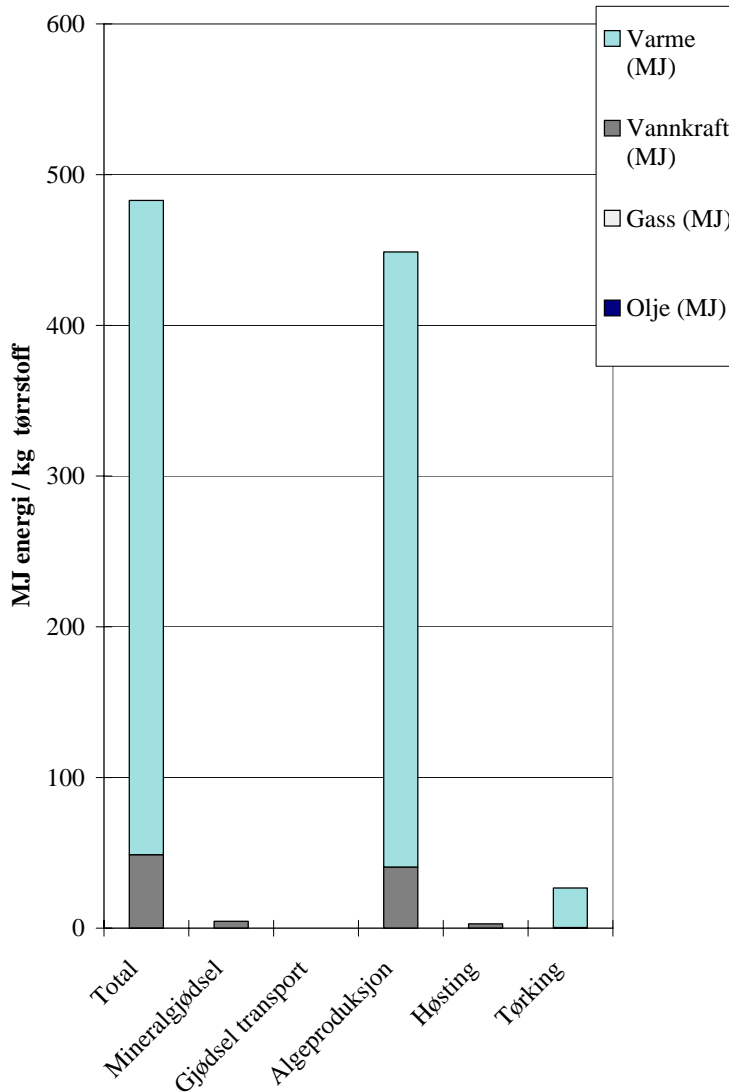
Energibehovet for sirkulering i en 20 cm dyp dam med skovlhjul, og en hastighet på 30 m/s, er beregnet til 53,2 kWh/ha/dag (Oswald 1988). Selv om produktiviteten er betydelig lavere i slike dammer, vil det totale energiforbruket per produsert enhet biomasse trolig bli betydelig lavere. Selv om produktiviteten skulle gå ned til femtedelen (40 kg/ha/dag), vil energiforbruket til sirkulering gå ned med 27 MJ/kg tørrstoff. Samtidig vil trolig energiforbruket til høsting øke noe, på grunn av en tynnere algekultur. Ved langsommere sirkulering blir energiforbruket betydelig lavere. En totalvurdering av arealbruk, økonomi og energiforbruk vil være nødvendig for å ta stilling til om slike dammer er et aktuelt alternativ.



Figur 3.1.2: Energiforbruk knyttet til produksjon av tørket algebiomasse, fordelt over livsløpet til produksjonen, når spillvarme ikke er inkludert som ressurs.

Dersom spillvarme inkluderes som en ressurs, ser en at spillvarme utgjør det helt dominerende energiforbruket i systemet (Figur 3.1.3). Det er en usikkerhet i estimatene for energibehov til oppvarming, fordi andre klimatiske forhold enn temperaturgradienten vil virke inn på varmetapet. Vind og nedbør kan øke varmetapet i vesentlig grad, mens direkte solinnstråling kan bety et redusert energibehov. Videre kan energibehovet til oppvarming reduseres med ca. 50% ved bruk av dobbel plastduk, og ved senket natterperatur. Sirkulasjon av luften inne i veksthuset vil også være avgjørende for varmetransporten fra rørene til ytterveggene på veksthuset, og dermed også påvirke energiforbruket. Disse forholdene er ikke tatt med i våre analyser, og må studeres nærmere i et pilotanlegg.

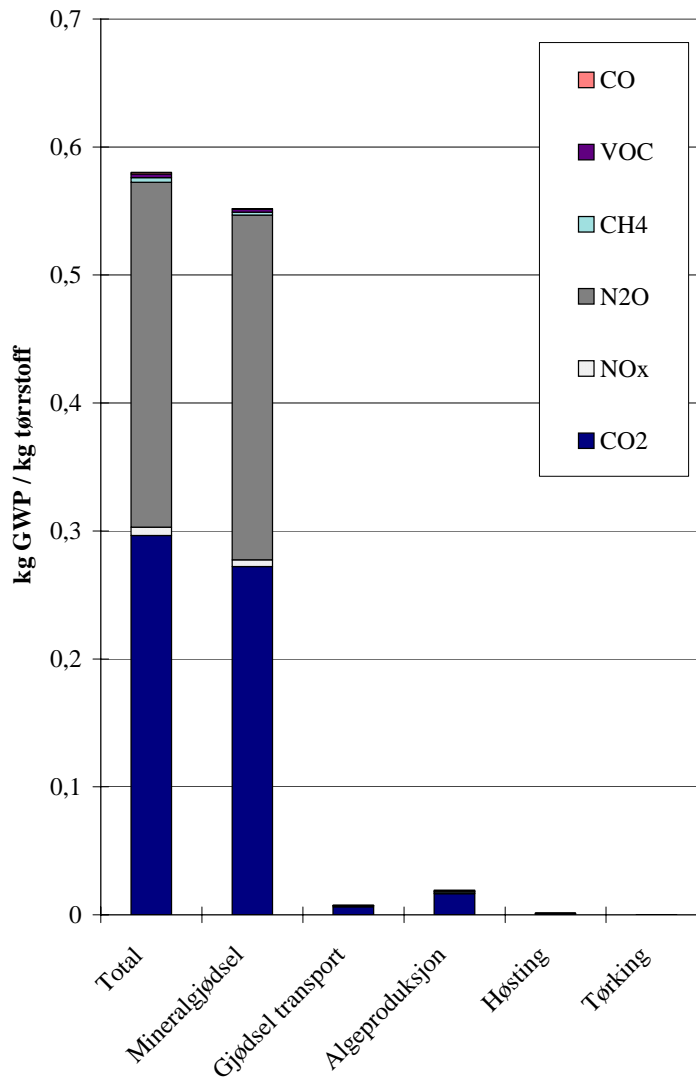
Trass i den skisserte usikkerheten, tyder våre tall på at den varmeenergien som er nødvendig for å holde kulturen på 25°C gjennom vekstsesongen, vil forutsette tilgang på spillvarme uten annen verdi.



Figur 3.1.3: Energiforbruk knyttet til produksjon av tørket algebiomasse, fordelt over livsløpet til produksjonen, når spillvarme er inkludert som ressurs.

Potensielt bidrag til global klimaendring ved produksjon av algebiomasse er framstilt i Figur 3.1.4, i form av kg GWP (global warming potensial) per kg produsert algebiomasse (tørrvekt).

Hovedkilden til klimagassutslipp ligger i kunstgjødselproduksjonen, med omtrent like store bidrag fra CO₂ og N₂O. Dersom kunstgjødsel kan erstattes med for eksempel næringssalter fra avløpsvann, vil klimagassutslippene reduseres med mer enn 90%, som det framgår av figuren. Selve algeproduksjonen bidrar i svært liten grad til klimagassutslipp.



Figur 3.1.4: Globalt oppvarmingspotensial (GWP) ved produksjon av tørket algebiomasse, fordelt over livsløpet til produksjonen.

3.2.4 Referanser vedrørende fôrproduksjon fra mikroalger

APL 1998. Applied Photosynthetics Ltd., U.K., fax fra A. Temkenedis 7.4.98

Becker, E.W. 1994. Microalgae. Biotechnology and microbiology. Cambridge University Press, Cambridge. 293 pp.

Esso Slagen: Fax fra Ø. Sundberg 11.11.98.

FG System, Fredrikstad: Telefonsamtale med Grundtvig 10.12.98.

Mohn, F.H. 1980. Experiences and strategies in the recovery of biomass from mass cultures of microalgae. *In* Algae biomass, ed G. Shelef & C.J. Soeder. Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam.

NIVA: Samtaler med O. Skulberg og T. Källqvist høsten 1998.

Oswald, W.J. 1988. Large-scale algal culture systems (engineering aspects). *In* Micro-algal Biotechnology, eds M.A. Borowitzka & L.J. Borowitzka. Cambridge University Press, Cambridge.

Preussag: Fax fra Prof. K.H. Steinberg, Preussag AG Innovation, 18.12.98.

Simon Dryers Ltd, U.K: telefonsamtale med A. Taylor 11.12.98.

Sinchumpasak, O. 1980. Microalgal biomass production in Thailand. *In Algae biomass*, ed G. Shelef & C.J. Soeder. Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam.

Tredici, M.R., Chini Zittelli, G., Benemann, J.R. 1998. A tubular integral gas exchange photobioreactor for biological hydrogen production. *In BioHydrogen*, ed. Zaborski et al. Plenum Press, New York.

3.3 Fôrtilskudd fra soyamel

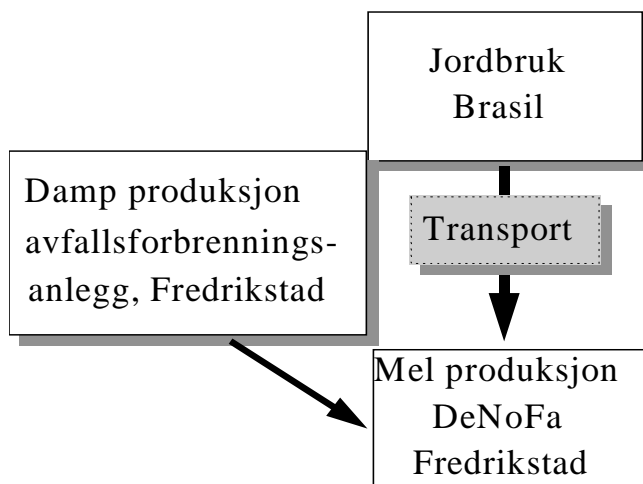
3.3.1 Systembeskrivelse

Dette er en studie som beskriver miljøpåvirkninger som er knyttet til produksjon av soyamel, i fasene fram til melet forlater fabrikkporten. Det vil si at forhold til distribusjonsfasen ikke er inkludert. Dette skyldes at det kun er framstilling av de ulike alternative fôrtypene som er interessant i denne vurderingen.

➤ Funksjonell enhet er 1 kilo tørrstoff i soyamel produsert ved DeNoFa i Fredrikstad.

Felleskjøpet produserer fôr til oppdrett av dyr i Norge. Soyamel er ofte en viktig del av fôret. I Norge produseres soyamelet av DeNoFa. I USA forekommer genmanipulerte soyabønner. Slike bønner benyttes ikke i norsk produksjon. Alle DeNoFa's råvarer kommer derfor fra Brasil.

Studien for soyamel er basert på litteratur-data fra USA (Sheehan, mai 1998), men data for dyrkning av soya er tilpasset til brasilianske forhold. For produksjon av soyamel er det brukt steds spesifikke data for DeNoFa's produksjon. Figur 3.3.1 viser produktreet med de livsløpstrinnene som er inkludert ved framstilling av soyamel.



Figur 3.3.1 Produktreet for framstilling av soyamel.

DeNoFas fabrikk i Fredrikstad produserer både soyamel og soyaolje. Allokering av miljøbelastning er gjort på basis av masse.

3.3.2 Kartlegging av data

DeNoFa får sine råstoffer fra Brasil. I denne studien er det i stor grad brukt en datakilde fra USA for relevante forhold knyttet til dyrking av soya. Det er trolig noe forskjell på arealbruk i USA og Brasil.

Arealbruk ved dyrkning av soya: Brasil 200-300 kg/mål
USA 200-250 kg/mål

Det er også grunn til å tro at dyrkningen er mindre mekanisert i Brasil enn i USA. Forskjellene antas allikevel å være så små at data for dyrkning i USA er brukt direkte inn i denne vurderingen. Bare transportdistanser er endret og tilpasset Brasil.

Energiforbruket hos DeNoFa er i stor grad basert på damp fra 3 kilder. De kjøper 40% fra et nærliggende avfallsforbrenningsanlegg og produserer 60% av dampen selv. Strømprisen er avgjørende for hvor mye tungfyringsolje de bruker. For denne studien antar vi at 10% av energien er strøm fra det norske nettet og 50% er energi fra forbrenning av tung fyringsolje (Lundgaard, T.E.). Hvis strømprisen er lav brukes strøm i stedet for fyringsolje. Det kan bety en del for utslippene av CO₂. Hvis man bruker vannkraft i stedet for olje er det mindre utslipp av CO₂. Fordi dampen er hovedproduktet fra avfallsforbrenningsanlegget (Frevar) må miljøbelastninger fra anlegget allokere til dampen. 6.7% av inntektene til Frevar er fra damp til DeNoFa. Miljøpåvirkninger knyttet til damp er derfor allokert på økonomisk basis.

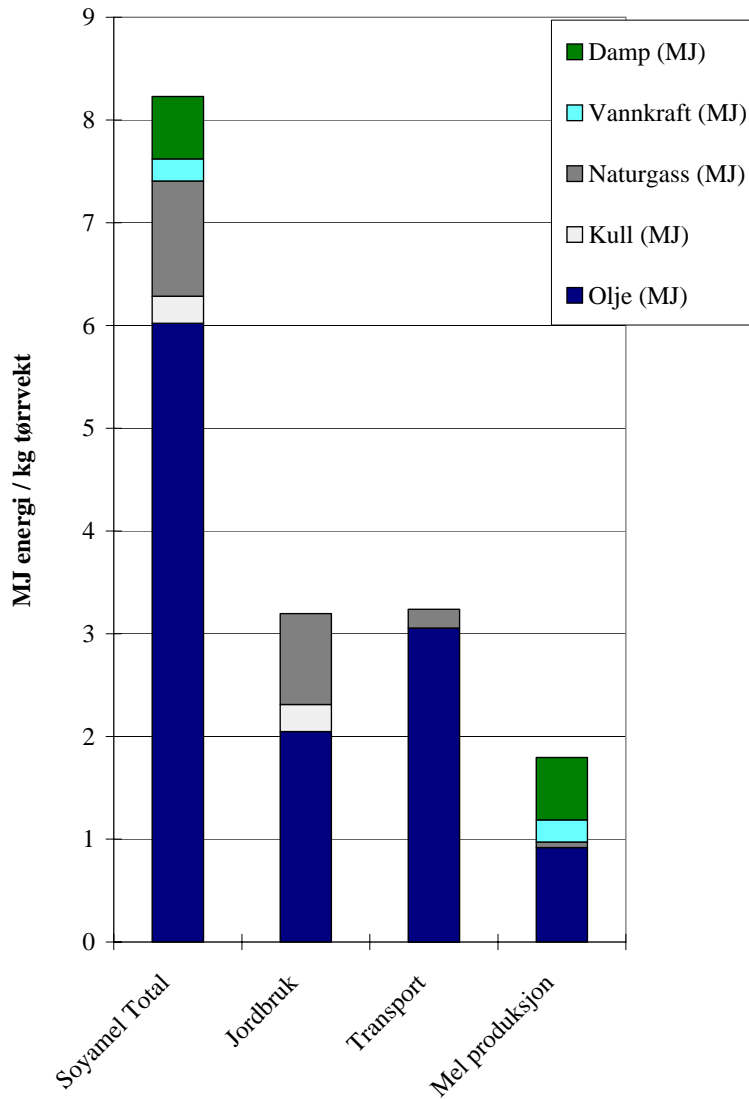
Forutsetninger og antagelser som er lagt til grunn for vurderingen er oppsummert i Tabell 3.3.1

Livsløpstrinn			Forutsetninger	Kilde
Råoljeuttak	Dyrkning av Soya	Prosess	Antar samme energibruk, gjødselforhold o.l. som i USA	Sheehan J. (1998)
		Transport	Skip for lang transport, 12 600 km	Målt på kart
Råvare-produksjon	Soyamel-framstilling	Prosess	Generell informasjon om soyamel-framstilling og fabrikkspesifikke data er gitt av DeNoFa	Evensen, K. 1998 Lundgaard, T. E. 1998.
Distribusjon Bruk			Ikke inkludert	
			Ikke inkludert	

3.3.3 Resultater og diskusjon

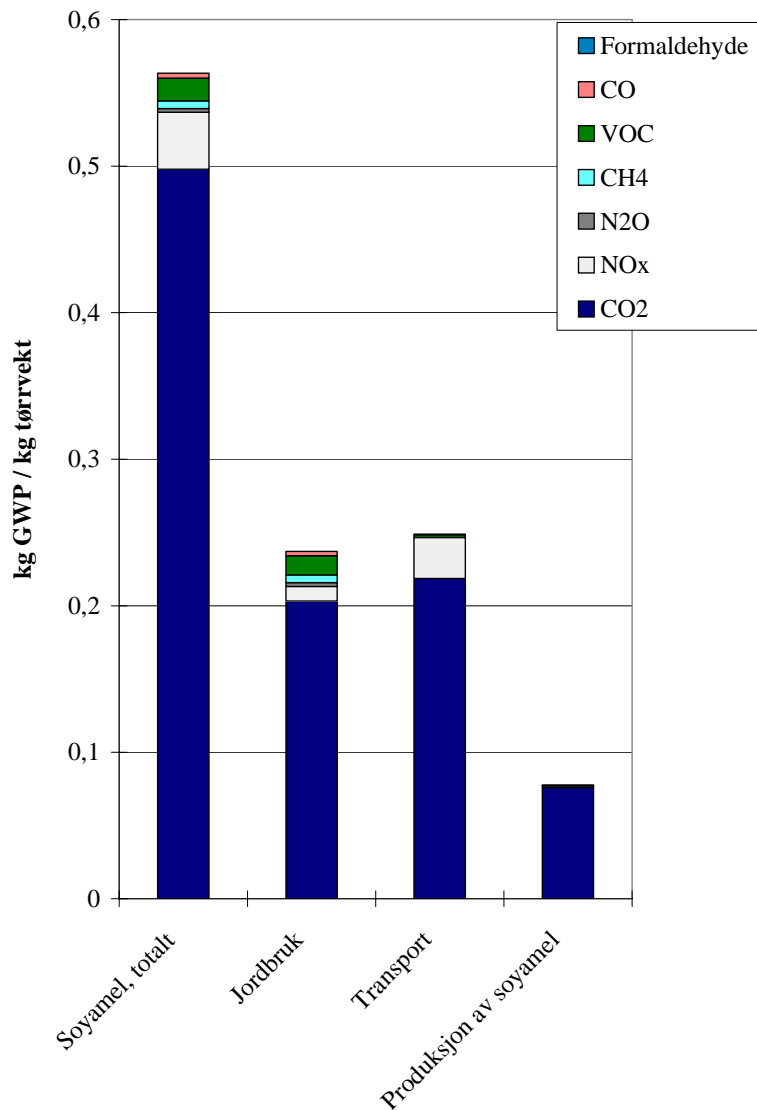
Resultatene fra vurderingene i denne studien skulle gi svar på hvor stort bidrag til global klimaendring og hvilket forbruk av energi som er knyttet til produksjon av soyamel. Det er også interessant å se hvilke trinn i livsløpet som gir de største bidragene.

I Figur 3.3.2 er forbruk av ulike typer energi på de ulike trinnene i livsløpet vist. Av figuren ser en at det er forbruk av olje som gir det største energiforbruket ved framstilling av soyamel. Oljeforbruket er størst i forbindelse med transport av soyabønnene fra Brasil til Norge. I tillegg er det et oljeforbruk knyttet til både jordbruket og melproduksjonen. I tillegg til olje er det et forbruk av naturgass til framstilling av gjødsel i jordbruket. Dette skyldes forbruk av elektrisitet til framstilling av gjødsel. Gjødselen produseres i land der elektrisiteten i stor grad er basert på ikke fornybare ressurser som gass og olje.



Figur 3.3.2 Energiforbruk for framstilling av soyamel, totalt og fordelt på trinnene i livsløpet.

Forbruk av fossil energi vil gi et bidrag til potensiell påvirkning på global klimaendring. I Figur 3.3.3 er det potensielle bidraget til global klimaendring for systemet vist. En ser av figuren at det er jordbruk og transport som er de trinnene som bidrar sterkest til global klimaendring ved framstilling av soyamel. Det er utslipp av CO₂ som gir det største bidraget, men også NO_x er en synlig bidragsyter. CO₂ utslippet skyldes forbruk av olje og gass, både i transportleddet og i soyamelfabrikken. NO_x er bare utslagsgivende for transporten fra Brasil. Dette skyldes av NO_x ofte oppstår ved at nitrogenet i lufta omdannes ved høye forbrenningstemperaturer. En slik termisk dannelse av NO_x er mer relevant i motorer enn i fyringsovner.



Figur 3.3.3 Potensielt bidrag til global klimaendring ved produksjon av soyamel, totalt og fordelt på trinnene i livsløpet.

3.3.4 Referanser vedrørende soyamelproduksjon

Evensen, K. 1998. DeNoFa Lilleborg AS, 9.10.98.

Lundgaard, T. E. 1998. Telefon samtale, DeNoFa Lilleborg AS, 10.12.98

Sheehan J., Camobreco V., Duffield J., Graboski M., Shapouri H. May 1998. Life Cycle Inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus. Final report. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado (NREL/SR-580-24089) 286 p.

STØ's LCA transport database (båt fra Brasil)

3.4 Fôrtilskudd fra fiskemel

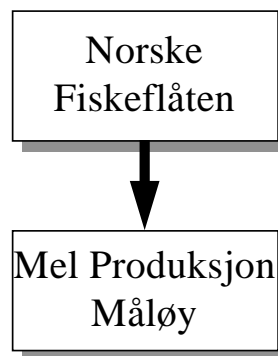
3.4.1 Systembeskrivelse

Dette er en studie som beskriver miljøpåvirkninger som er knyttet til produksjon av fiskemel, i fasene fram til melet forlater fabrikkporten. Det vil si at forhold til distribusjonsfasen ikke er inkludert. Dette skyldes at det kun er framstilling av de ulike alternative fôrtypene som er interessant i denne vurderingen.

- Funksjonell enhet er 1 kilo tørrstoff i fiskemel produsert ved Måløy sildoljefabrikk.

I Norge er det tolv fiskemelfabrikker. I 1997 var en av de tolv ute av drift (på grunn av mangel på råstoff). Disse fabrikkene er lokalisert i Eigersund (tre fabrikker), Karmøy, Askøy, Måløy (to fabrikker), Moldtustranda, Vedde (utenfor Ålesund), Bodø, Tromsø og Vadsø (har vært ute av drift de siste år). Alle fabrikker benytter stort sett samme produksjonsteknologi og alle produserer kun fiskemel og fiskeolje (Urdahl 23.10.98).

Studien for produksjon av fiskemel er basert på litteraturdata og stedsspesifikke data fra Måløy Sildoljefabrikk A/S. Figur 3.4.1 viser en skjematisk framstilling av de livsløpstrinn som er inkludert i studien.



Figur 3.4.1 Produktre for framstilling av fiskemel.

Energiforbruk ved fiskeflåten er basert på forbrukstall fra snurpeflåten. Dette antas å være de mest relevante tall for fisk til fiskemelproduksjon.

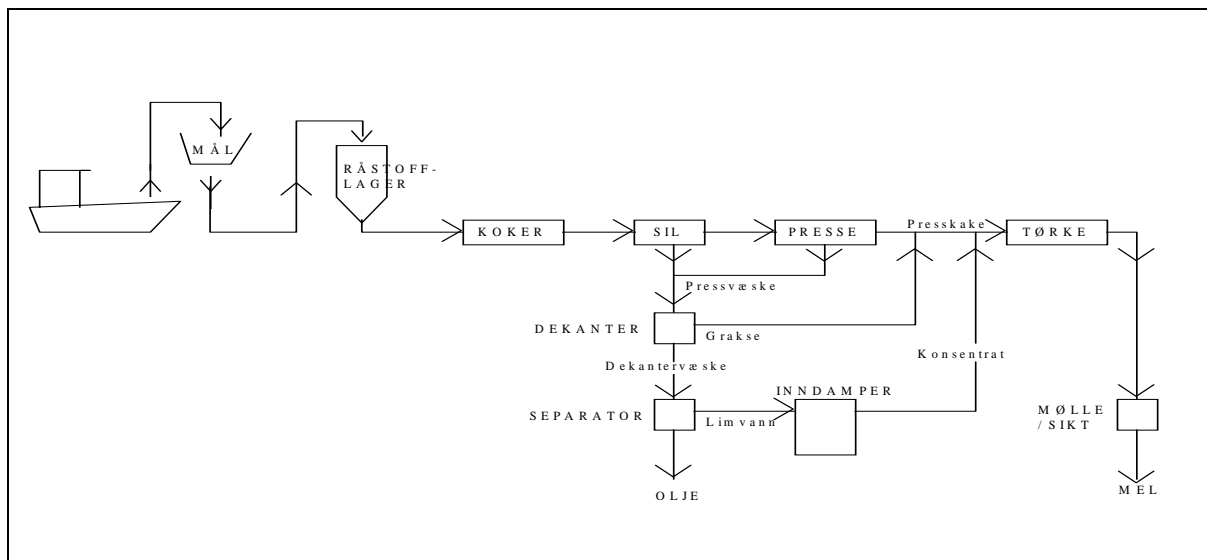
Det råstoff Måløy Sildoljefabrikk A/S skal foredle, består av tre hovedfraksjoner; olje, fettfritt tørrstoff og vann. Prosessen går ut på å skille disse tre faser fra hverandre så fullstendig som mulig. Fabrikken har en lossekapasitet på ca. 140 tonn per time og en produksjonskapasitet på ca. 1250 tonn per døgn. Produksjon foregår døgntkontinuerlig sju dager i uken. Måløy Sildoljefabrikk produserer både fiskemel og fiskeolje. I denne studien ser vi bare på fiskemel. Utslipp og energiforbruk knyttet til produksjonen er fordelt på de to produktene på basis av masse (masse-allokering).

I prinsippet består produksjonsgangen av:

- ◆ et oppvarmingstrinn som sprenger fettceller og frigjør oljen
- ◆ en mekanisk separering av massen i en fast fase (presskake) og en flytende fase (pressvæske). Dette gjøres vanligvis ved pressing, men sentrifugering anvendes også, undertiden kombinasjon av de to.
- ◆ en ytterligere fraskilling av tørrstoff (grakse) fra væskefasen som deretter avfettes. Den resterende væskefase (limvann) konsentreres til det såkalte konsentrat.

Den neste fase, presskake og sentrifugegrakse, blir deretter sammen med konsentratet overført til holdbart mel ved tørking.

De enkelte prosesstrinn som er inkludert i tallene for fiskemelfabrikken er vist i Figur 3.4.2.



Figur 3.4.2. Prosesstrinnene som er inkludert i trinnet for framstilling av fiskemel.

3.4.2 Kartlegging av data

Hovedråstoff er fisk av forskjellig slag hvor førstehands-omsetningen skjer gjennom et fellesorgan - Nordsildmel A/L. Energiforbruk ved fiskeflåten er basert på forbrukstall fra snurpeflåten der oljeforbruket per tonn ilandført pelagisk fisk har variert fra ca 0.05 til 0.10 tonn fra slutten av 70-tallet fram til midten av 90-tallet (Erstad H, 1982). En annen publikasjon (Meltzer F.1989) oppgir et noe høyere tall, 0,132 tonn/tonn fisk. Variasjonen reflekterer endringer i fangstgrunnlag, driftsmønster etc. Det er i denne studien valgt å anta et energiforbruk på 0,1 tonn olje per tonn fisk.

På grunn av det faktum at alle fabrikkene bruker stort sett samme produksjonsteknologi har vi brukt data fra kun en av fabrikkene, Måløy sildoljefabrikk.

Forutsetninger og antagelser som er lagt til grunn for vurderingen er oppsummert i Tabell 3.4.1.

Livsløpstrinn			Forutsetninger	Kilde
Råoljeuttak	Fiskeflåten	Prosess	Antar 0,1 tonn olje/tonn fisk basert på gjennomsnittlig energiforbruk ved norsk fiskeflåte 1970-1990.	Erstad H. 1982 Meltzer F, 1989
Råvareproduksjon	Fiskemel- framstilling	Prosess	Generell informasjon om fiskemelframstilling og fabrikkspesifikke data er gitt av Måløy Sildeoljefabrikk.	Hjelle A. 1996
Distribusjon			Ikke inkludert	
Bruk			Ikke inkludert	

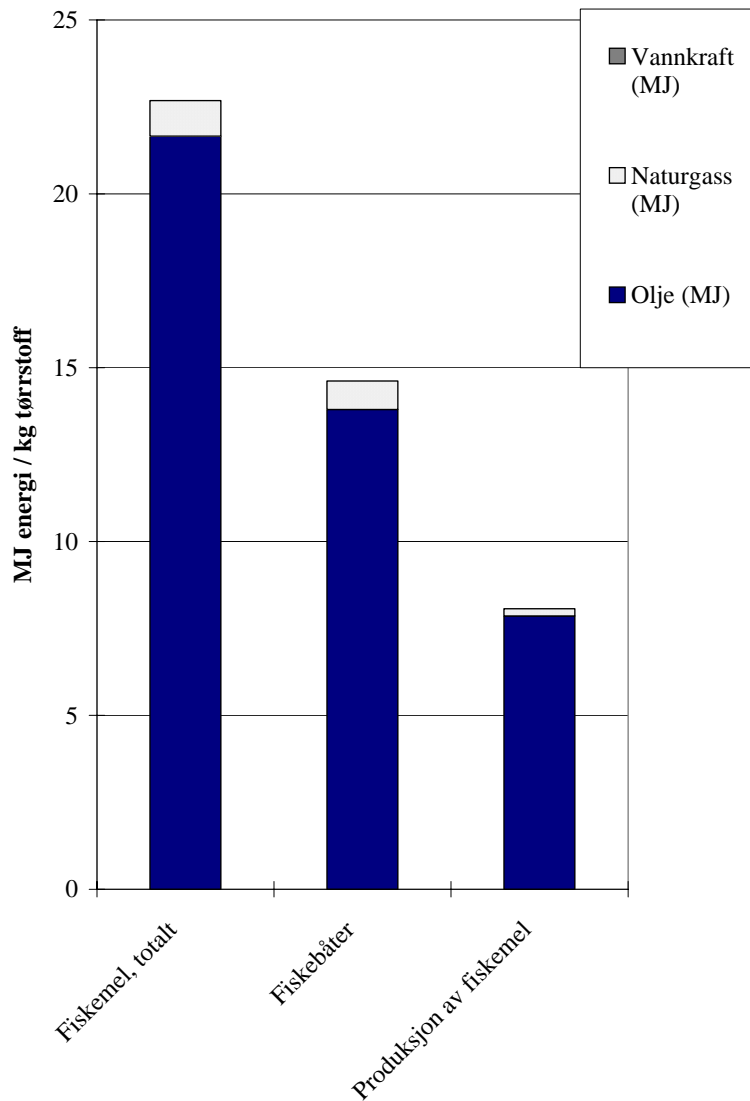
Tabell 3.4.1. Forutsetninger og antagelser for produksjon av fiskemel

3.4.3 Resultater

Resultatene fra vurderingene i denne studien skulle gi svar på hvor stort bidrag til global klimaendring og hvilket forbruk av energi som er knyttet til produksjon av fiskemel. Det er også interessant å se hvilke trinn i livsløpet som gir de største bidragene.

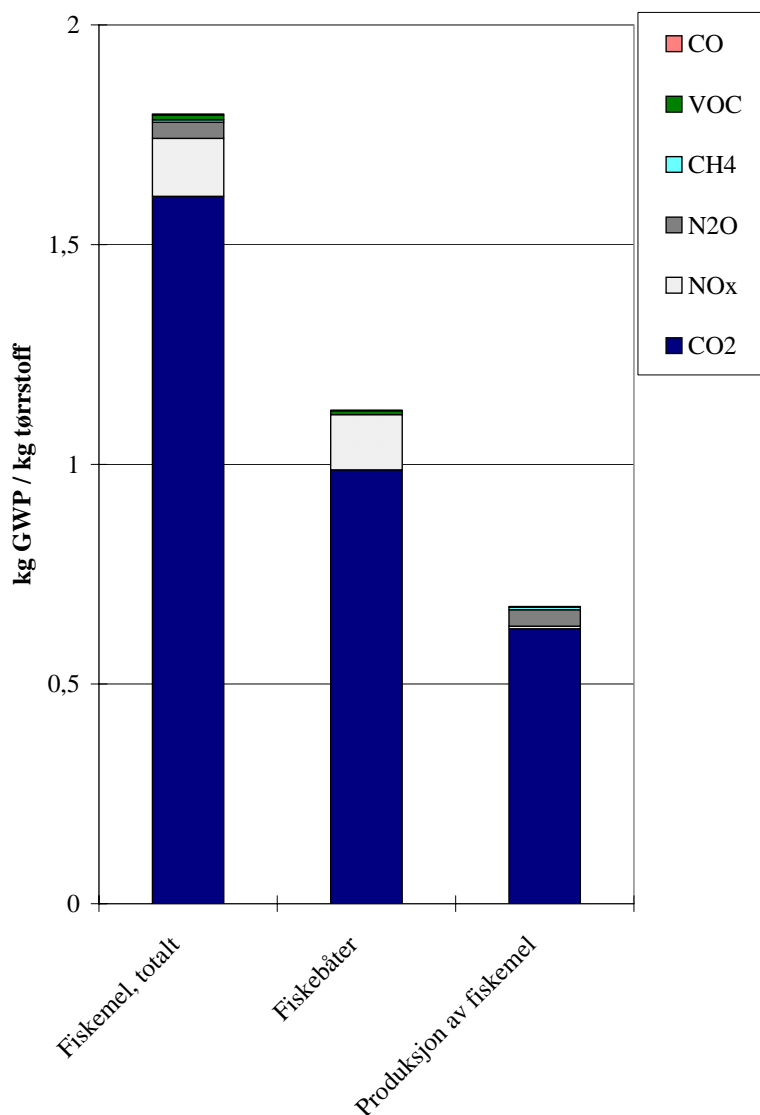
Det er også interessant å kartlegge hvilket energiforbruk som faktisk er knyttet til framstillingen av fôret.

I Figur 3.4.3 er forbruk av ulike typer energi på de ulike trinnene i livsløpet vist. Av figuren ser en at det er forbruk av olje som gir det største energiforbruket ved framstilling av fiskemel. Det er bidraget fra fiskeriet som gir det største utslaget, men det er også et vesentlig oljeforbruk knyttet til fiskemel- framstillingen.



Figur 3.4.3. Energiforbruk for framstilling av fiskemel, totalt og fordelt på trinnene i livsløpet.

Forbruk av fossil energi vil gi et bidrag til potensiell global klimaendring (GWP). I Figur 3.4.4 er det potensielle bidraget til global klimaendring for systemet vist.



Figur 3.4.4 Potensielt bidrag til global klimaendring ved produksjon av fiskemel, totalt og fordelt på trinnene i livsløpet.

En ser av figuren at det er fiskeflåten som er det trinnet som bidrar sterkest til global klimaendring ved framstilling av fiskemel. Det er utslipp av CO₂ som gir det største bidraget, men også NO_x er en synlig bidragsyter. CO₂ utslippet skyldes forbruk av olje, både i motorene på fiskeflåten og i fiskemelfabrikken. NO_x er bare utslagsgivende for fiskeflåten. Dette skyldes av NO_x ofte oppstår ved at nitrogenet i luften omdannes ved høye forbrenningstemperaturer. En slik termisk dannelse av NO_x er mer relevant i motorer enn i fyringsovner.

3.4.4 Referanser vedrørende fiskemelframstilling

Urdahl, N., Brev: *Livsløpsvurderinger av Soyamel, Fiskemel, O.A.*, SSF, 23.10.98.

Hjelle, A., *Prinsipp For Sildemel-Prosess*, Måløy Sildoljefabrikk A/S, 1.1.96.

Erstad, H., *Energibruk i den norske fiskeflåten*, FTFL, 7/82.

Meltzer, F., Bjørkum, I., *Kartlegging av avgassutslipp fra fiskeflåten*, Marintek, 05.12.92.

3.5 Produksjon av fôrtilskudd: Oppsummering

Våre vurderinger viser at energiforbruket ved produksjon av algebasert fôrtilskudd kan komme til å ligge omtrent dobbelt så høyt som ved produksjon av fiskemel, når systemet er basert på lukkede rørreaktorer og sirkulering ved hjelp av pumping. Behovet for spillvarme er da ikke inkludert. Tar en hensyn til potensialet for forbedring ved algeproduksjonen, spesielt ved bruk av "air-lift" i stedet for pumping av kulturen, kan produksjonen av fôr fra alger bli mer energieffektiv enn produksjon av fiskemel, og komme ned på omtrent samme nivå som produksjon av soyamel. Ved produksjon av alger er energien hovedsakelig elektrisk energi, mens den ved produksjon av fiskemel i hovedsak er av fossil opprinnelse. Energiforbruket ved produksjon av soyamel er betydelig lavere enn for alger og fiskemel. Også for soyamel er energiforbruket hovedsakelig av fossil opprinnelse, men med et større innslag av elektrisk energi enn fiskemel.

Dersom spillvarme inkluderes som en ressurs, vil en med det aktuelle produksjonssystemet se at det totale energibehovet ved algeproduksjon blir svært høyt. Med andre ord forutsetter dette produksjonskonseptet at spillvarmen kan betraktes som et produkt uten verdi (avfall). I dette tilfellet kan spillvarmen ekskluderes fra regnskapet. Dersom spillvarmen betraktes som en ressurs, vil en kunne redusere forbruket noe med bedre isolering (dobbel duk i veksthus), men en vil likevel komme fram til prinsipielt samme resultat dersom en holder fast på å holde en høy temperatur. Alternativet er da å la temperaturen i kulturen i større grad følge omgivelsestemperaturen, selv om dette fører til en reduksjon i produktiviteten.

Bidrag til global oppvarming (GWP) ligger på omtrent samme nivå ved produksjon av algebiomasse som ved produksjon av soyamel. Både alger og soyamel bidrar ca. 68% mindre til GWP enn produksjon av fiskemel. Ved produksjon av alger stammer bidraget i all hovedsak fra kunstgjødselproduksjonen. Dersom all kunstgjødsel kan erstattes med for eksempel næringsalter fra avløpsvann, vil utslippene av klimagasser reduseres med mer enn 90%, forutsatt at ikke utnyttelsen av utløpsvann impliserer andre utslipp av klimagasser. Erstatning av soyamel og fiskemel med "algemel" vil da føre til en reduksjon i utslipp av klimagasser knyttet til fôrmelet med 90-95%. Selve algeproduksjonen bidrar i svært liten grad til utslipp av klimagasser.

Vi har sammenlignet produktene på tørrstoffbasis. Det kunne også vært et alternativ å sammenligne på basis av produsert mengde protein, fordi en av hovedhensiktene med denne typen fôrtilskudd er å øke proteininnholdet i fôret. Vi har regnet med et proteininnhold på 60% i algebiomassen, mens soyamel inneholder ca. 50-55% protein og fiskemel ca. 70%. Dersom sammenligningene hadde vært utført på basis av mengde protein, ville dermed soyamel kommet noe dårligere ut, mens fiskemel ville kommet noe bedre ut, uten at dette ville påvirke konklusjonene.

Vi vil poengtere at livsløpsvurderingene av soyamel og fiskemel er basert på faktisk informasjon basert på gjeldende prosesser, mens livsløpsvurderingene av fôr fra algebiomasse er mer teoretisk fundert, basert på en rekke forutsetninger, slik at resultatene her er mer usikre. Energiforbruket per produsert enhet biomasse vil for eksempel være helt avhengig av at forutsetningen om produktivitet er korrekt. Vurderingene setter likevel søkelys på noen viktige elementer som det bør fokuseres på:

- optimalisering av energibruk til sirkulering av kulturen for å redusere totalt energiforbruk
- erstatning, helt eller delvis, av kunstgjødsel med næringsstoffer fra for eksempel avløpsvann vil være avgjørende for å oppnå en positiv virkning på klimagassutslippene.

Konklusjoner:

- Med de forutsetninger vi har lagt til grunn for algeproduksjon, er det relativt energikrevende å produsere fôr fra algebiomasse i lukkede reaktorer, omtrent dobbelt så høyt som ved produksjon av fiskemel, og betydelig høyere enn ved produksjon av soyamel. Ved å erstatte pumping av kulturen med "air-lift"-systemer, er det trolig et potensiale for å redusere energiforbruket til algeproduksjon til et nivå som ligger betydelig lavere enn produksjon av fiskemel, og på nesten samme nivå som produksjon av soyamel.
- Det må forutsettes at spillvarme kan betraktes som et avfallsprodukt og ikke belaster systemet.

- Energiforbruket ved produksjon av alger er hovedsakelig elektrisk energi, mens den i større grad er av fossil opprinnelse ved produksjon av fiskemel og soyamel.
- Ved å erstatte fiskemel og soyamel med algemel, kan utslippene av klimagasser knyttet til disse produktene reduseres vesentlig, forutsatt at kunstgjødsel kan erstattes med andre kilder for næringssalter som ikke bidrar til utslipp av klimagasser.

4. Produksjon av energi

4.1 Målformulering /funksjonell enhet

4.1.1 Målformulering

I dette prosjektet er miljøeffekter begrenset til CO₂ –utslipp og energiforbruk. Andre utslipp med potensiell påvirkning på global klimaendring er også inkludert. For produksjon av energibærere er tre systemer vurdert. Biodiesel og hydrogen med basis i algeproduksjon er sammenlignet med tradisjonell petroleumsdiesel.

Målet var å få en oversikt over hvorvidt energibærere framstilt med bakgrunn i algeproduksjon ville ha en besparende effekt i forhold til energiforbruk og CO₂-utslipp ved tradisjonelle fossile energibærere. Studien skulle baseres på litteraturtall og STØ's tidligere erfaringer.

4.1.2 Funksjonell enhet

Den funksjonelle enhet er den enhet som angir et produkts ytelse i forhold til en bestemt brukers krav. Den funksjonelle enheten vil fastlegge materialstrømmen av råvarer og produkter oppstrøms og nedstrøms for bruksfasen. Materialflytanalysen viser hvilke strømmer som er store og viktige, og hvilke som vektmessig er av mindre betydning i forhold til innsamling av data for produksjon av råvarene.

Den funksjonelle enhet for de tre livsløpsvurderingene i dette prosjektet er:

Framstilling, distribusjon og forbrenning av 1 MJ brensel i motor basert på:

- Biodiesel fra mikroalger
- Hydrogen fra mikroalger
- Petroleumsdiesel

4.1.3 Generelle systemgrenser, forutsetninger og antagelser

Avgrensninger mot naturen:

- CO₂ som stammer fra algenes karbon er en del av det naturlige kretsløp, og er derfor ikke regnet med som utslipp ved forbrenning av biodiesel. CO₂-utslipp fra energibruk ved produksjon av alge-biomasse som danner basis for biodieselen er inkludert.
- CO₂ som inngår i algenes produksjon av karbohydrat i hydrogengass-systemet, frigis i forbindelse med hydrogenproduksjonen, og gir derfor ikke noe netto bidrag. Den er derfor ikke inkludert i regnskapet.

Avgrensninger for systemet (cut-off criteria):

- Det er tatt hensyn til miljø- og ressurspåvirkning fra råvareutvinning og framstilling ved alle strømmer som inngår med mer enn 1% (vekt) av den funksjonelle enhet.
- Utslipp og ressursforbruk ved råstoffuttak, produksjon og bruk av ulike energibærere er inkludert i denne livsløpsvurderingen.

Avgrensninger mot andre produkters livsløp

- Produksjon av bygninger og teknisk produksjonsutstyr er ikke inkludert i sammenligningsstudien.
- Produksjon av motorer der brenselet brennes er ikke inkludert i vurderingen

Allokering

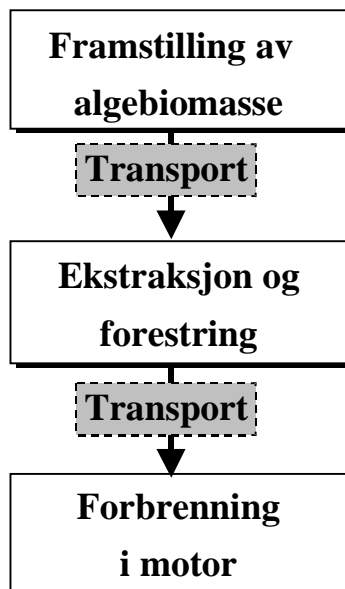
- Alle faktiske utslipp som er knyttet til produktene eller råvarer som inngår i produktene er allokert til produksystemene.
- I de delprosesser der det er to eller flere produkter, er utslipp og ressursforbruk knyttet til prosessen fordelt på produktene ved massefordeling.

Antagelser

- Det antas at det er de samme kundene som kjøper enten olje eller foredlet biobrensel. Transportavstander til kunde i de to tilfellene er den samme.
- Det antas at produksjon og kunde er i Norge.

4.2 Biodiesel fra alger**4.2.1 Systembeskrivelse**

Produktsystemets inngående råvarer og delprosesser beskrives gjennom produktreet i Figur 4.2.1.



Figur 4.2.1 Produktreet for framstilling av biodiesel

4.2.2 Kartlegging av data

Det er forutsatt at algeproduksjonen foregår i samme type reaktorsystem som brukt til fôrproduksjon. Det er bare lipidene som går inn i biodieselproduksjonen, og det er derfor viktig at lipidinnholdet er så høyt som mulig. For å øke lipidinnholdet er det nødvendig med næringsbegrensning, og produktiviteten går derfor noe ned. I praksis blir utbyttet av lipid høyest når en har bare moderat næringsbegrensning og dermed mindre enn maksimalt innhold av lipid i algene. Vi har gjort følgende antakelser basert på en rapport fra USA (Sheehan, Juli 1998):

- Produksjon 17,5 g/m²/d
- Lipidinnhold 30% av tørrvekt
- Nitrogeninnhold 5% av tørrvekt

Det bør poengteres at det kan være et potensiale for forbedring av eksisterende arter ved hjelp av genetisk seleksjon og genteknologi, slik at produksjonen av lipider kan økes uten at det går på bekostning av veksthastigheten.

Sentrifugering er antatt brukt til høsting. Det er antatt samme energiforbruk som ved fôrproduksjon i forhold til volumet som sentrifugeres. Tørring er ikke med i prosessen, da vi har valgt å la restbiomassen (70% av tørrstoffet) gå til biogassproduksjon. Vi antar at restbiomassen vil være av begrenset verdi for andre formål på grunn av kjemikalier brukt i ekstraksjons-prosessen.

Data for ekstraksjon og forestring er hentet fra tilgjengelig informasjon for produksjon av biodiesel fra soya (Sheehan, mai 1998). Spesielt for ekstraksjon er det usikkert om prosessen vil være den samme.

Energiutbyttet av metanproduksjon er ikke inkludert, jfr. resultat-avsnittet.

Forutsetninger og antagelser som er lagt til grunn for vurderingen er i hovedsak som for fôrproduksjon når det gjelder selve algeproduksjonen (se kapittel 3.2.2). Spesielle forutsetninger for biodieselproduksjonen er oppsummert i Tabell 4.1. Data for ekstraksjonsprosessen er basert på soya, i mangel av data for ekstraksjon fra alger. Vi antar at i hvert fall deler av prosessen er den samme. Forestrings-prosessen er også basert på data for soya, og det er her ingen grunn til å tro at prosessen skulle være vesentlig forskjellig for alger. Prosessen innebærer forestring med metanol, som er antatt å være av fossil opprinnelse. Dette forklarer at noe av karbonet i biodieselen er fossilt basert.

Livsløpstrinn			Forutsetninger	Kilde
Produksjon av kunstgjødsel		Prosess	Produksjon av algebiomasse med 5% N	Sheehan, juli 1998
Algeproduksjon		Prosess	Produktivitet 17,5 g/m ² /dag, lipidinnhold 30% av tørrstoff. Energi til CO ₂ -tilførsel redusert i forhold til produsert biomasse	Sheehan, juli 1998 Preussag
Ekstraksjon		Prosess	Basert på ekstraksjon av olje fra soya.	Sheehan, mai 1998
Forestring		Prosess	Basert på ekstraksjon av olje fra soya	Sheehan, mai 1998
Bruk		Prosess	Forbrenning i buss, basert på amerikanske tall	Sheehan, mai 1998

Tabell 4.1 Forutsetninger og antagelser for produksjon av biodiesel

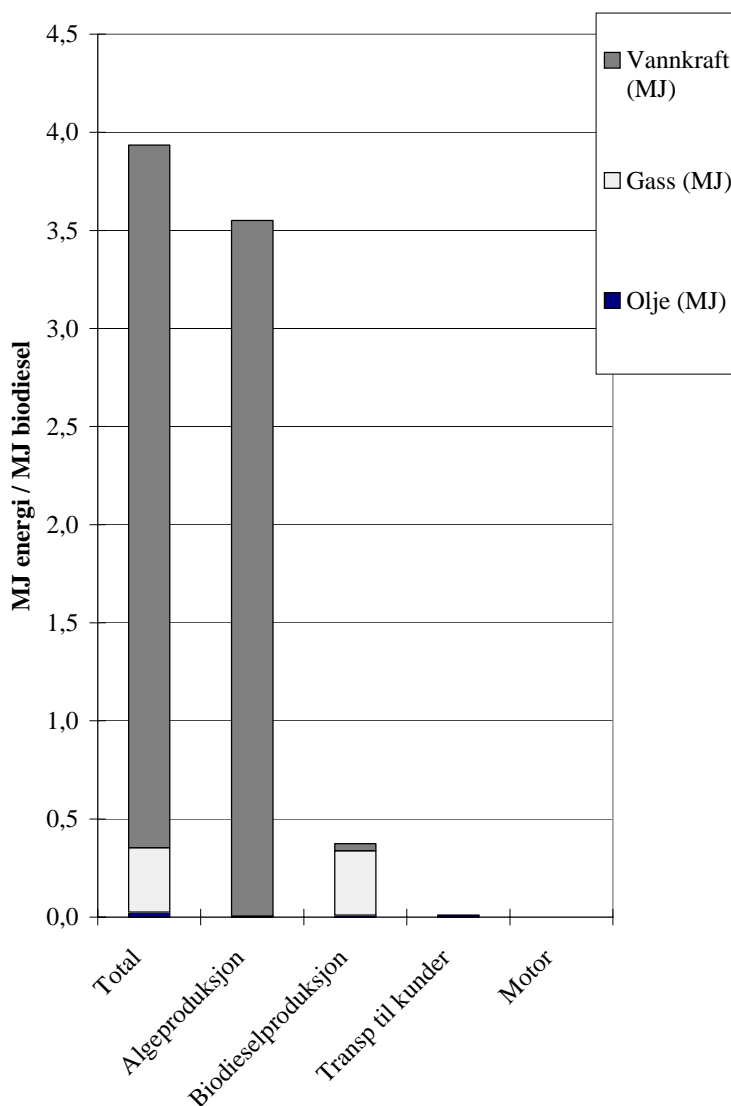
4.2.3 Resultater

Resultatene fra livløpsvurderingene skulle gi svar på hvor stort bidrag til global klimaendring og forbruk av energi som er knyttet til produksjon og forbrenning av biodiesel. Det er også interessant å se hvilke ledd i livsløpet som gir de største bidragene.

Ved framstilling av en energibærer er det spesielt interessant å kartlegge hvilket energiforbruk som faktisk er knyttet til framstillingen av energibæreren på en slik form at den faktisk kan benyttes i en gitt motor eller annen brenner, på et gitt sted.

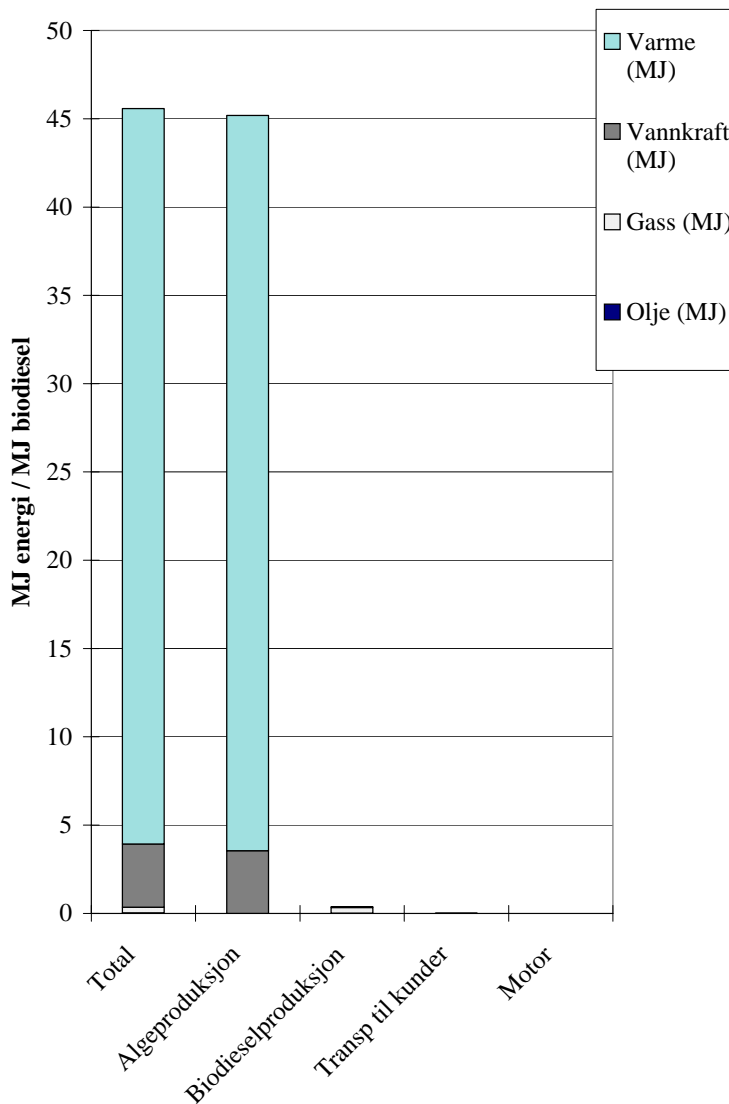
I Figur 4.2.1 er forbruk av ulike typer energi på de ulike trinnene i livsløpet vist, når spillvarme ikke er inkludert som en ressurs. En ser at det går med nesten fire ganger mer energi ved å produsere biodiesel enn det man får ut ved forbrenning av produktet. Energiutbyttet ved forbrenning av metan fra restbiomassen vil bare redusere dette tallet med ca. 7,5 %. I denne vurderingen har vi basert oss på sirkulering av kulturen ved hjelp av pumping.

Som beskrevet i kapittel 3.2.3, kan energiforbruket reduseres vesentlig ved bruk av "air-lift"-systemer. Produksjon i åpne dammer vil også redusere energiforbruket vesentlig, men samtidig vil produksjonen gå noe ned. Det er derfor en reell mulighet for at produksjon av biodiesel fra mikroalger kan gi en positiv energibalanse, spesielt hvis man kan utvikle nye og bedre tilpassede alger, som kan gi et høyere lipidutbytte. Sannsynligvis vil det også være avgjørende å finne en bedre utnyttelse av restbiomassen, slik at deler av energiforbruket kan allokere til denne delen av biomassen.



Figur 4.2.1
Energiforbruk i produksjonssystemet for biodiesel (spillvarme ikke inkludert)

Når spillvarme inkluderes i regnskapet som en ressurs (Figur 4.2.2) blir energiregnskapet ekstremt ugunstig. I dette tilfellet blir det vanskelig å tenke seg at det vil være mulig å produsere biodiesel basert på alger.

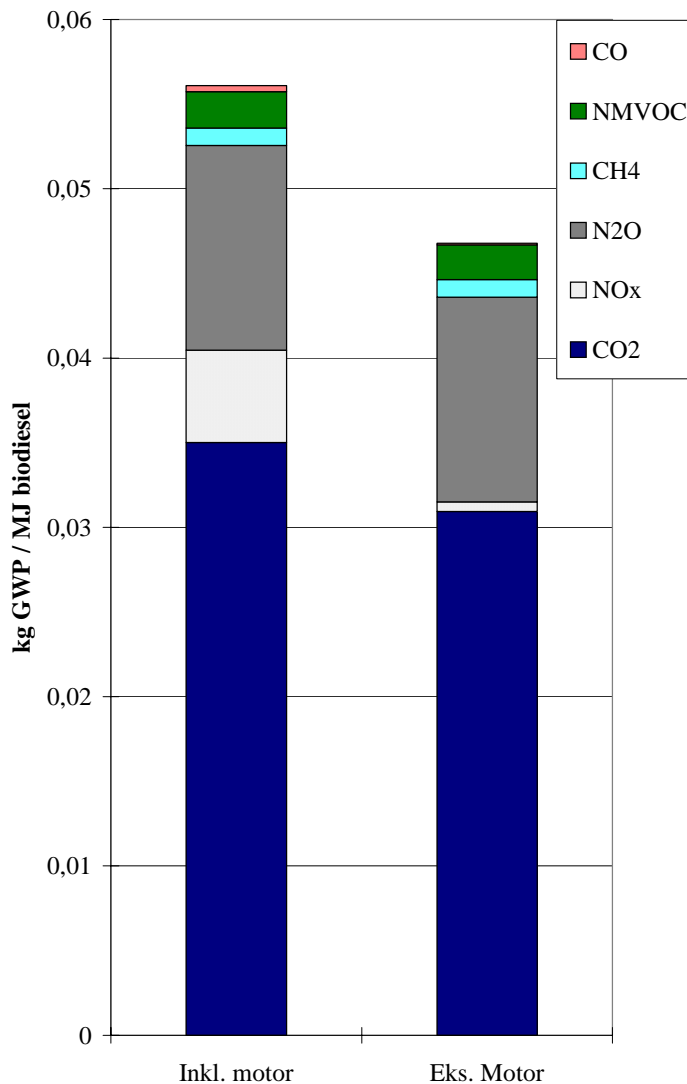


Figur 4.2.2 Energiforbruk i produksjonssystemet for biodiesel (spillvarme inkludert)

Figur 4.2.3 viser globalt oppvarmingspotensial (GWP) ved produksjon og forbrenning av 1 MJ biodiesel. For å synliggjøre forholdet mellom bidrag fra framstilling og forbrenning er forbrenning trukket fra i søyle nummer to i den samme figuren.

Figuren viser at forbrenningen i motoren bare utgjør en liten andel av GWP i biodieselens livsløp. I hovedsak er det utslipp av CO₂ som bidrar. Dette skyldes at det inngår metanol av fossil opprinnelse i forestringsprosessen, slik at en viss andel av karbonet i biodiesel er av

fossil opprinnelse. I tillegg er det noe bidrag fra NO_x i forbrenningen.

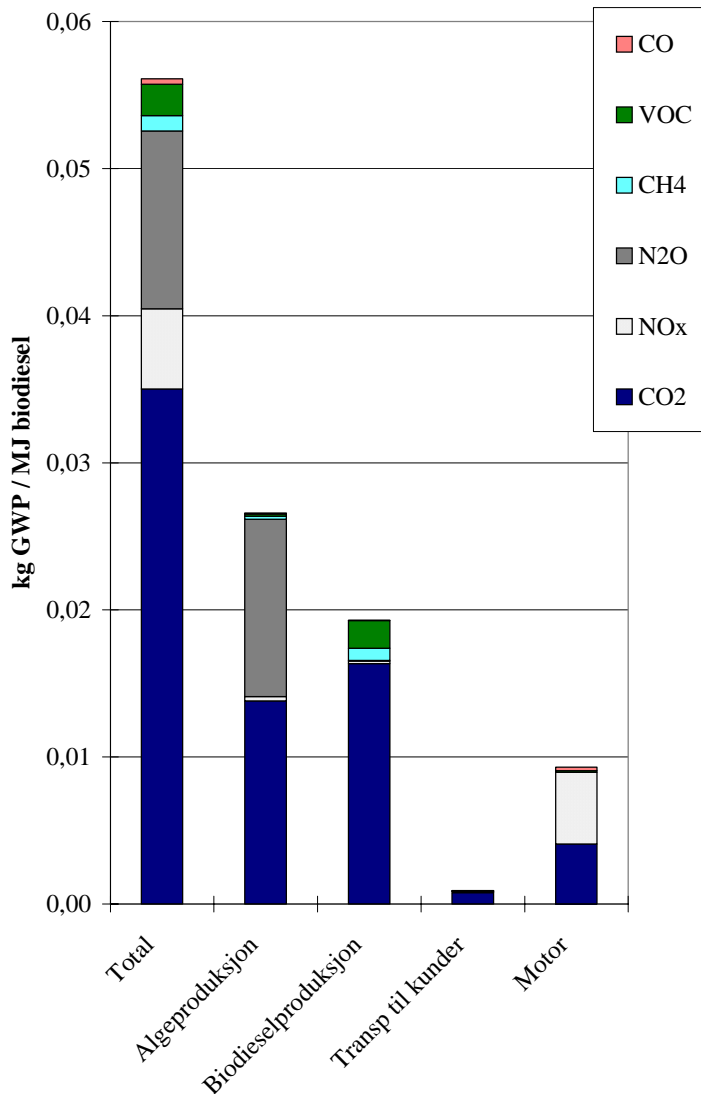


Figur 4.2.3

Globalt oppvarmingspotensial (GWP) for biodiesel med og uten forbrenning i motoren.

For å se hvilke ledd i produksjonen som bidrar til global klimaendring er produksjonen splittet opp på de ulike trinnene i Figur 4.2.4. Figuren viser at algeproduksjonen (inklusive produksjon av kunstgjødsel) og biodieselproduksjonen utgjør de viktigste bidragene i livsløpet av biodieselen.

For di biodieselen bare vil inneholde minimale mengder med mineralnæringsstoffer, kan en tenke seg et alternativ hvor næringsstoffene resirkuleres og behovet for kunstgjødsel blir kraftig redusert. For å illustrere hvilket potensial for forbedring som ligger i dette, kan en ta et teoretisk eksempel hvor en forutsetter 100% resirkulering (eller evt. tilførsel av næring utelukkende fra avløpskilder). Utslipp av CO₂ og N₂O fra algeproduksjonen vil da gå ned med henholdsvis 90 og 100%. Dette vil gi en 44% reduksjon i GWP for hele livsløpet til biodieselen, slik at en kommer ned i 0,0316 kg GWP/MJ biodiesel. Det meste av det øvrige bidraget stammer fra produksjonen av biodiesel fra algebiomasse.



Figur 4.2.4 Globalt oppvarmingspotensial (GWP) vist over fasene i livsløpet for framstilling og bruk av biobrensel.

4.2.4 Referanser vedrørende framstilling av biodiesel

Preussag: Fax fra Prof. K.H. Steinberg, Preussag AG Innovation, 18.12.98

Sheehan J, Camobreco V, Duffield J, Graboski M, Shapouri H: Life Cycle Inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus. Final report May 1998. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado (NREL/SR-580-24089) 286 p.

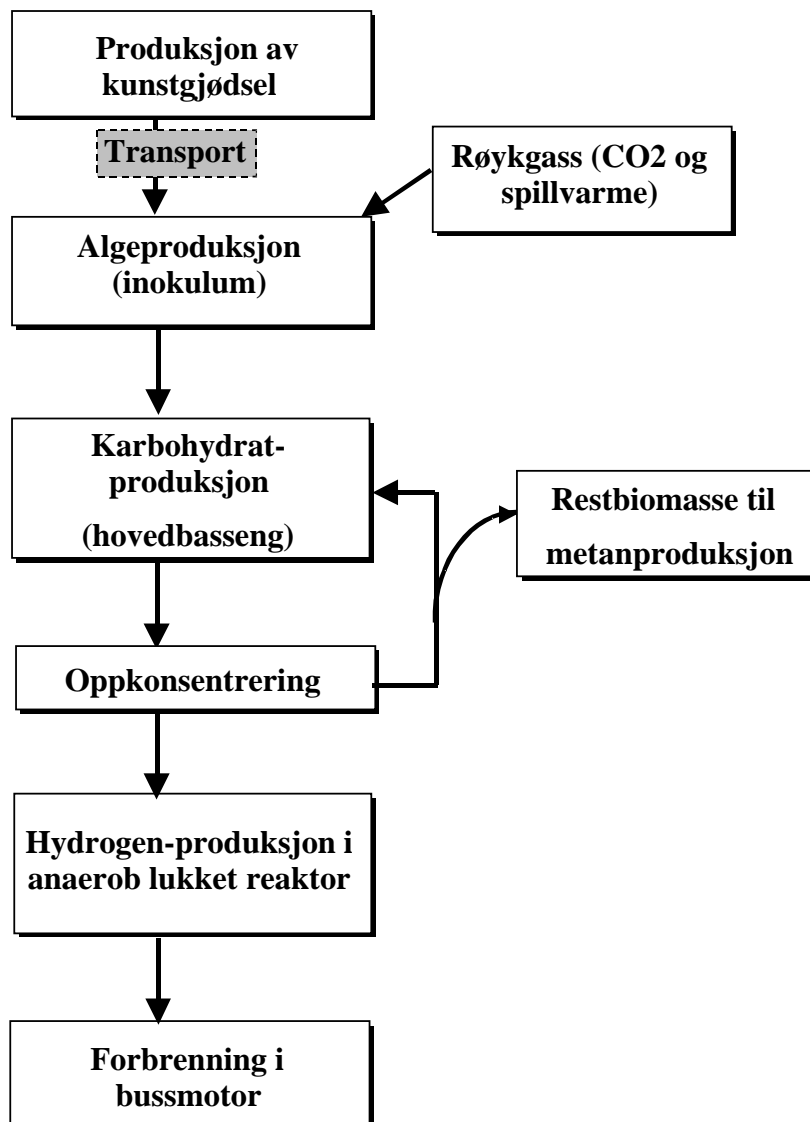
Sheehan J, Dunahay T, Benenann J, Roessler P: A look back at the U.S. Department of Energy's aquatic species program – biodiesel from algae. Close-out report July 1998. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado (NREL/TP-580-24190) 288 p.

4.3 Hydrogen fra alger

4.3.1 Systembeskrivelse

Systemet er basert på beskrivelser hos Benemann (1998). Han har forutsatt en gjennomsnittlig lystilgang på 5000 kcal/m²/d, mens informasjon basert på målinger i Oslo (Blindern) viser en gjennomsnittlig lystilgang på ca. 3500 kcal/m²/d i den aktuelle vekstsesongen (uke 10-40). Basert på dette har vi redusert produktivitetstallene med 30%.

Systemet består av et inokulum-basseng (åpen dam) som produserer ny biomasse for å erstatte tapte celler. Dette utgjør 10% i areal av produksjonsbassenget. Dette er et åpent basseng hvor algene produserer karbohydrater. Celler med et høyt innhold av karbohydrater oppkonsentreres ti ganger, og går inn i en lukket fotobioreaktor for anaerob hydrogenproduksjon. I prosessen spaltes karbohydrater hovedsakelig til CO₂ og hydrogen. Cellene føres deretter tilbake til produksjonsbassenget for ny oppbygging av karbohydrater. Det er antatt at noen av cellene går til grunne. Disse erstattes av alger fra inokulum-dammen. Det er antatt at restbiomassen som ikke går tilbake til produksjonsbassenget brukes til metan-produksjon. Beregninger tyder på at energiutbyttet av metan vil være svært lavt sammenlignet med hydrogenproduksjonen, og er derfor ikke inkludert.



Figur 4.3.1. Produktre for produksjon av hydrogen fra mikroalger.

4.3.2 Kartlegging av data

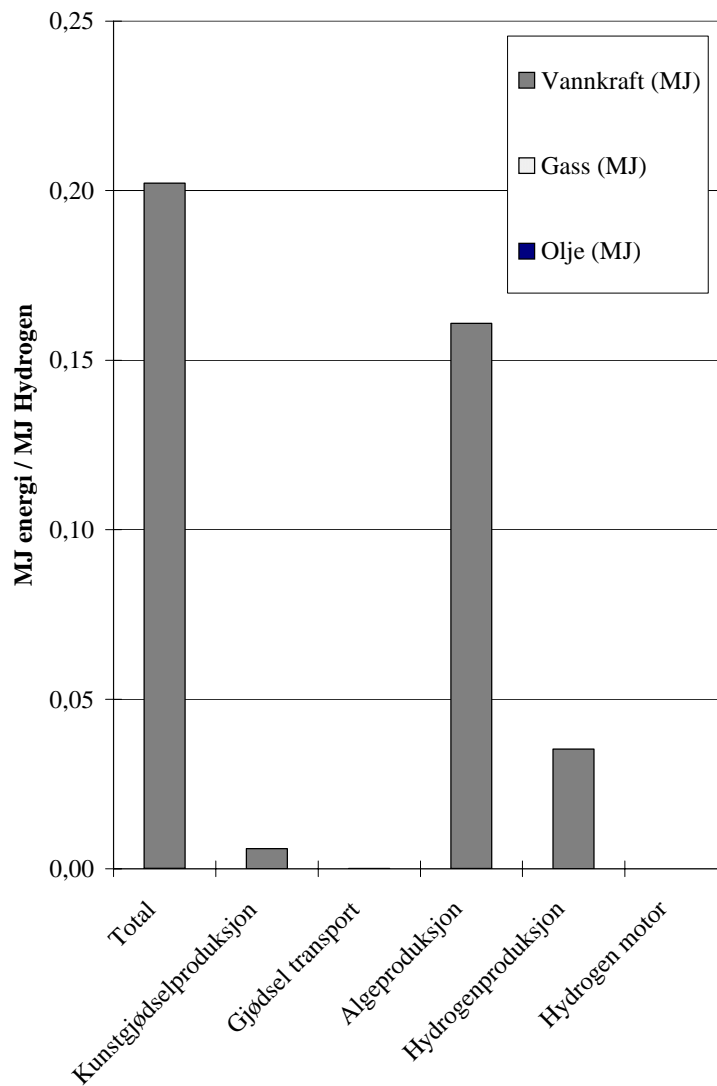
Vi har lagt følgende forutsetninger til grunn, som i hovedsak er basert på Benemann (1998), bortsett fra 30% lavere produktivitet:

- Inokulum dam 1000 m², åpen dam med veksthus
- Produksjonsbasseng 1 hektar, åpen dam med veksthus
- Hydrogenproduksjon i lukket reaktor av rørtypen, areal 1000 m²
- Produksjon av biomasse (inokulum) med 7% effektiv utnyttelse av lysenergien. Dette gir en produksjon på 46 g/m²/d
- Produksjon av karbohydrat med 10% utnyttelse av lysenergien. Dette gir en produksjon på 84 g/m²/d.
- 100% effektivitet i hydrogenproduksjonen
- Det er ikke lagt inn energibruk til oppkonsentrering. Dette er derfor forutsatt å være en passiv prosess med sedimentering av biomasse eller lignende. Det forutsettes 10 ganger oppkonsentrering.
- Separering av produsert hydrogengass og CO₂ er ikke inkludert.
- Håndtering og distribusjon av produsert hydrogengass er ikke inkludert.
- Utslipp av NO_x 0,305 g /MJ ved forbrenning i bussmotor (HYPASSE prosjekt)

De produksjonsmessige forutsetningene er ikke realisert i dag, og produksjonssystemet er derfor å betrakte som et framtidsperspektiv på hvilke muligheter som kan knytte seg til hydrogenproduksjon fra mikroalger.

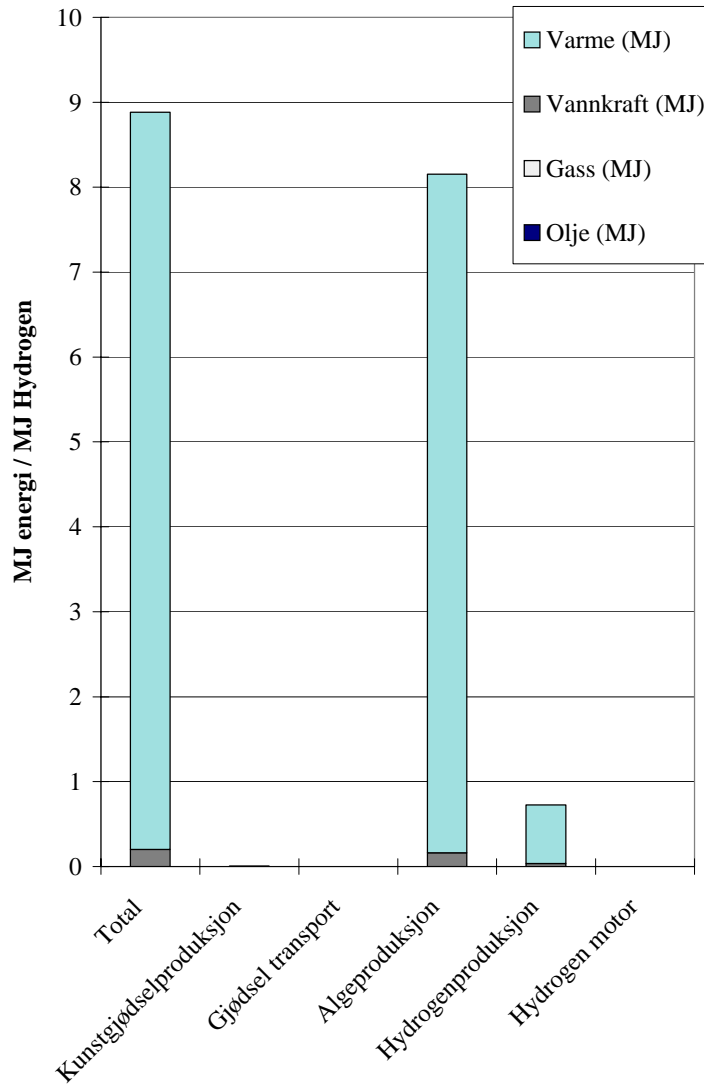
4.3.3 Resultater

Figur 4.3.2 viser at det brukes ca. 0,2 MJ for å produsere 1 MJ hydrogengass, når spillvarmen ikke er inkludert som ressurs. Det kan derfor se ut som det ligger muligheter i å oppnå en energieffektiv produksjon av hydrogen fra alger. Dette vil forutsette at man i framtida vil være i stand til å oppfylle de optimistiske forutsetningene som er lagt til grunn. Samtidig kan det ligge muligheter i ytterligere å redusere energiforbruket ved selve algeproduksjonen.



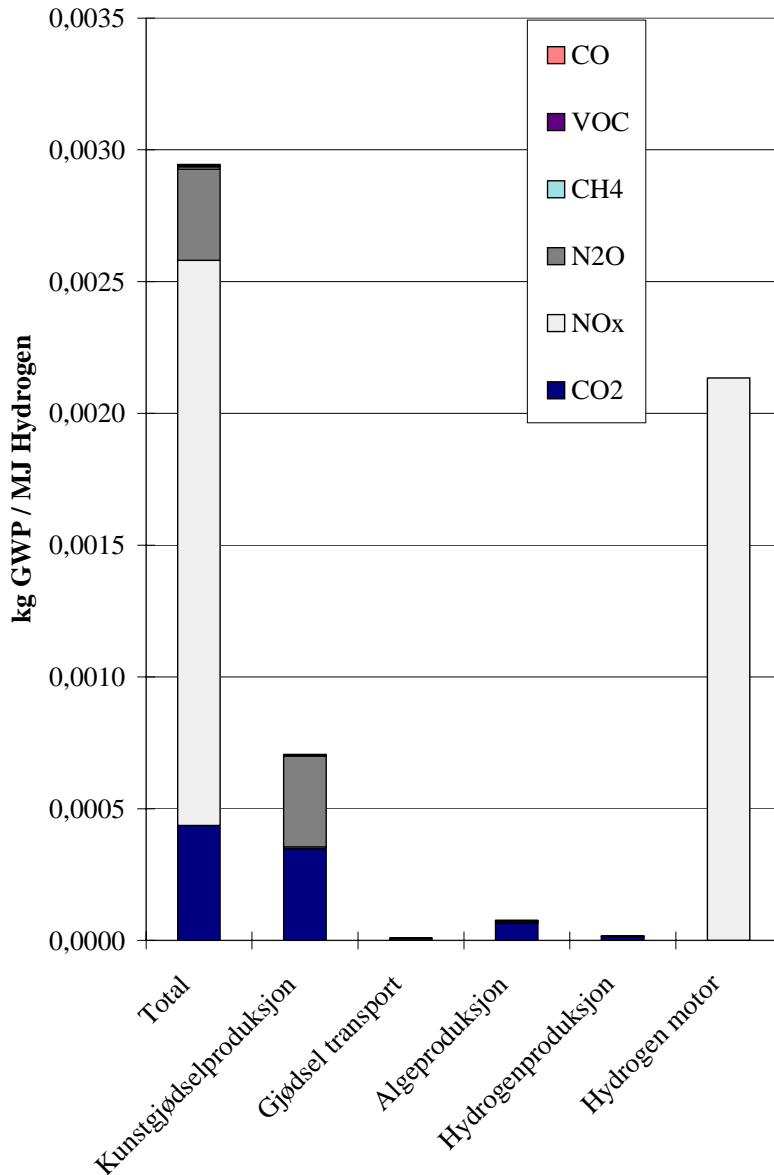
Figur 4.3.2: Energiforbruk ved produksjon av hydrogengass fra alger (spillvarme ikke inkludert)

Når spillvarme inkluderes om ressurs, ser en at energiforbruket blir vesentlig høyere enn utbyttet (Figur 4.3.3). Forutsetningen om tilgjengelig spillvarme uten annen bruksverdi er derfor en nødvendighet, dersom man ikke kan oppnå samme produktivitet ved en lavere temperatur.



Figur 4.3.3: Energiforbruk ved produksjon av hydrogengass fra alger (spillvarme inkludert)

Figur 4.3.4 viser globalt oppvarmingspotensial (GWP) for hydrogengass produsert fra alger. Det viktigste bidraget er NO_x dannet ved forbrenning i hydrogenmotoren. Dette bidraget er basert på eksisterende motorteknologi, og kan tenkes å bli lavere i framtida. For øvrig utgjør kunstgjødselfordusjon det viktigste bidraget.



Figur 4.3.4 Globalt oppvarmingspotensial (GWP) av hydrogengass produsert fra mikroalger

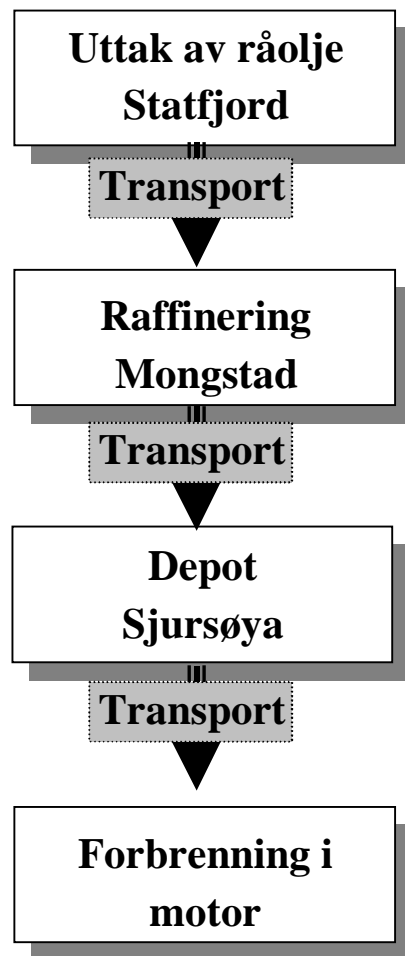
4.3.4 Referanser vedrørende hydrogen

1. Benemann J.R. 1998. Process analysis and economics of biophotolysis of water. Report March 1998. IEA Agreement on the production and utilization of hydrogen (IEA/H2/10/TR2-98).
2. HYPASSE prosjekt. 1995. <http://www.hyweb.de/Wissen/Vdi-bz95.html>. Informasjon hentet fra internett 17.12.98

4.4 Petroleumsdiesel

4.4.1 Systembeskrivelse

Studien for petroleumsdiesel er basert på litteratordata (Førde et al 1993), med modifikasjoner for tilpassing til formålet med denne studien. Petroleumsdiesel er produsert fra råolje tatt opp fra Statfjordfeltet i Nordsjøen. Råoljen transporteres til Mongstad for raffinering, videre til depot på Sjursøya ved Oslo og til en gjennomsnittskunde på Østlandet (Statoil etter forespørsel). Diesel antas å bli forbrent i en bussmotor. Utslipp fra forbrenningen er basert på en sammenligningsstudie av petroleumsdiesel og biodiesel som er gjort i USA (Sheehan et al, mai 1998). Produktsystemets inngående råvarer og delprosesser beskrives gjennom produktreet i Figur 4.4.1.



Figur 4.4.1 Produktre for framstilling av petroleumsdiesel

4.4.2 Kartlegging av data

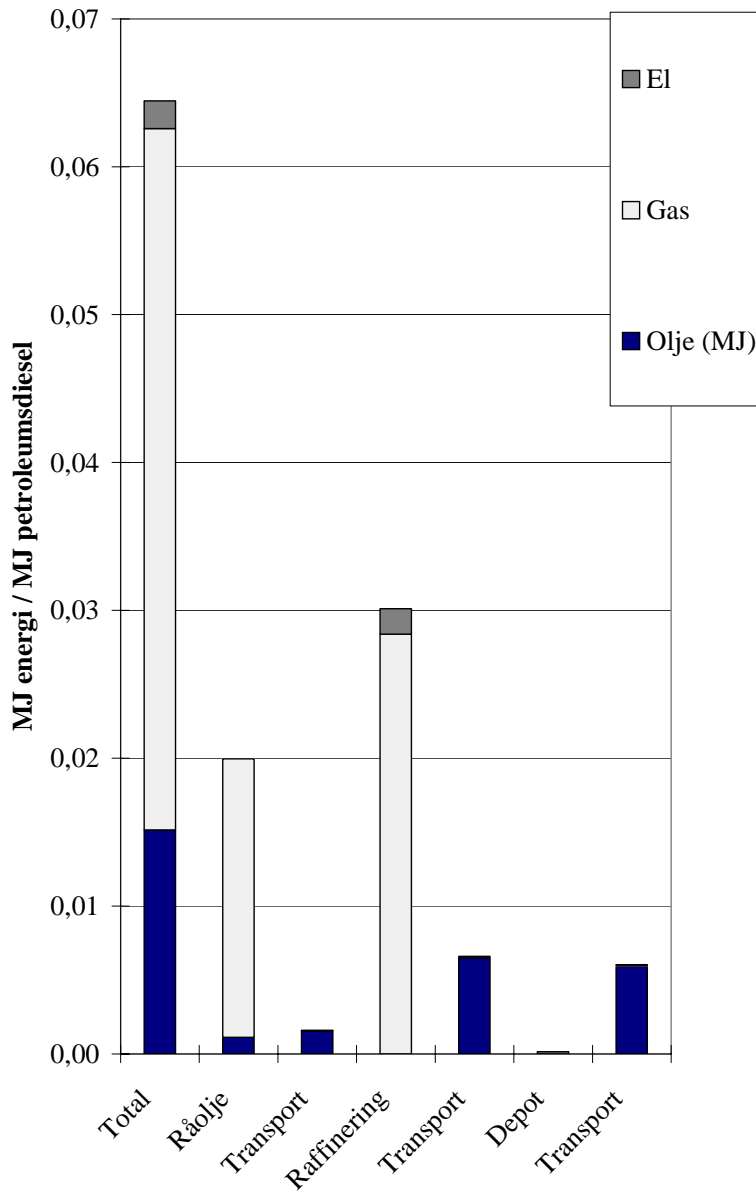
Forutsetninger og antagelser som er lagt til grunn for vurderingen er oppsummert i Tabell 4.1.

Livsløpstrinn			Forutsetninger	Kilde
Råoljeuttak	Norsk Sokkel	Prosess	Diverse målte og rapporterte utslipp Inkl. Snorre og Statfjord N og Ø	Statoil (1997)
	Fra sokkel til raffineri	Transport	Båt transport til Mongstad	Førde, J (1993)
Råvare-produksjon	Raffineri	Prosess	Tall fra tidligere gjennomført livsløpsvurdering for produkter fra Mongstad. VOC-utslipp endret til 1996 tall	Førde, J (1993) Statoil (1997)
	Fra raffineri til depot.	Transport	Båt transport fra Mongstad til Sjursøya 14.000 dwt Last pr. reise: 14.000 tonn Energiforbruk pr. reise: Bunkersolje 40 tonn Diesel (aggregat): 1,75 tonn Marin diesel (lossing): 6 tonn	Førde, J (1993)
Distribusjon	Depot	Prosess	Sjursøya	Førde, J (1993)
	Fra depot til kunde	Transport	Fra depot i Oslo til gjennomsnittskunde på Østlandet 300 km med stor bil	Antagelse basert på erfaringer fra interne prosjekter.
Bruk	I motor	Forbrenning	Antar utslipp fra forbrenning som i buss i USA Brennverdi: 43,5 MJ/kg	Sheehan J. (1998)

Tabell 4.1 Forutsetninger og antagelser for petroleumsdiesel

4.4.3 Resultater

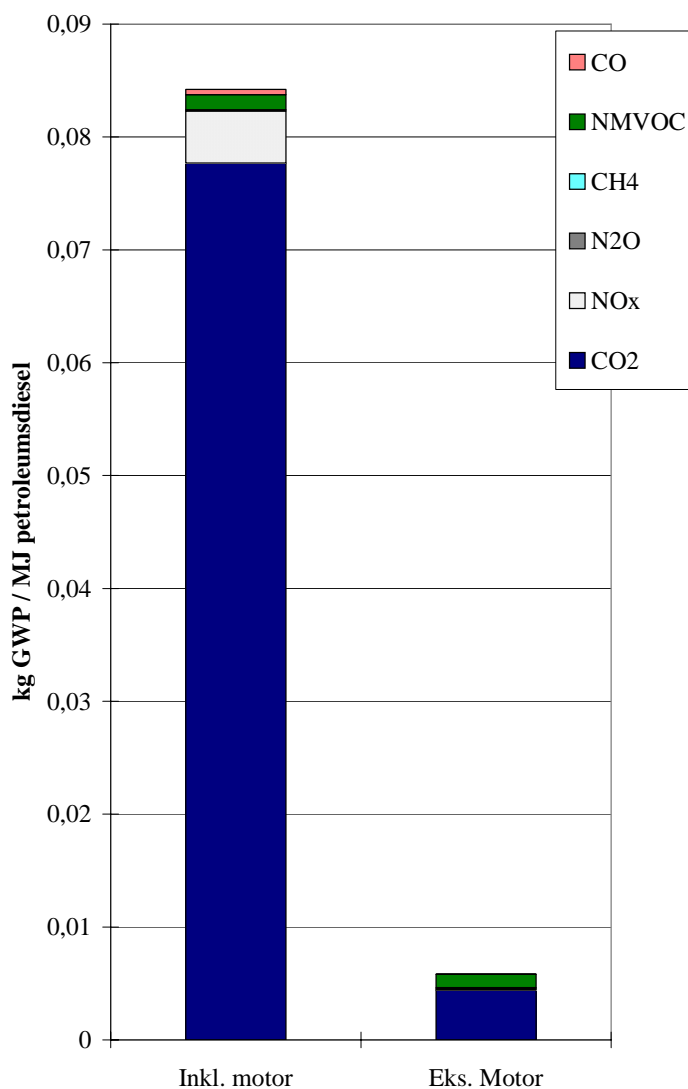
I Figur 4.4.2 er forbruk av ulike typer energi på de ulike trinnene i livsløpet vist. Av figuren ser en at det er råoljeuttak og i særlig grad raffineringen som har det største energiforbruket i produktsystemet petroleumsdiesel. Det er særlig forbruk av gass som gir utslag i disse de to trinnene. Ser en på olje er det transporttrinnene som bidrar mest.



Figur 4.4.2 Forbruk av energi for petroleumsdiesel for de ulike trinnene i livsløpet.

Figur 4.4.3 viser hvilket bidrag 1 MJ petroleumsdiesel gir til global klimaendring (GWP). Figuren viser totalt bidrag inklusiv det bidrag som skyldes forbrenning i motoren. For å synliggjøre forholdet mellom bidrag fra framstilling og forbrenning er forbrenning trukket fra i søyle nummer to i den samme figuren.

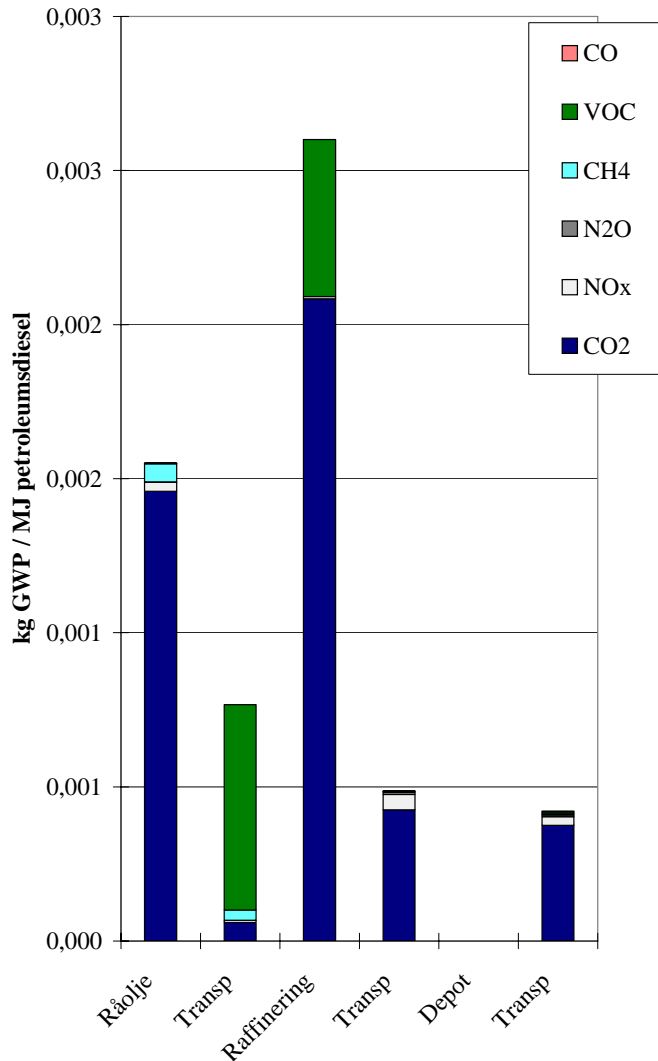
Figuren viser at det er forbrenningen i motoren som gir det største bidraget til GWP i petroleumsdieselens livsløp. I hovedsak er det utslipp av CO₂ som bidrar. I tillegg er det noe NO_x i forbrenningen og noe lettflyktige hydrokarboner (VOC) som bidrar. VOC er i større grad også knyttet til produksjonen av brenselet.



Figur 4.4.3. Globalt oppvarmingspotensial (GWP) av petroleumsdiesel med og uten forbrenning i motoren.

For å se hvilke ledd i produksjonen som bidrar til global klimaendring er produksjonen splittet opp på de ulike trinnene i Figur 4.4.4. Figuren viser at det er raffineringen av oljen og delvis råoljeuttaket som gir de største bidragene til global klimaendring når det gjelder framstilling og transport av petroleumsdiesel. CO₂ er det utslippet som gir det største bidraget for dette systemet. CO₂-utslipp er oftest knyttet til ulike forbrenningsprosesser. En ser derfor at bildet av CO₂-utslipp i stor grad er sammenfallende med Figur 4.4.2 der energiforbruk for systemet er vist. De største kildene til CO₂ er raffinering og råoljeuttak.

Et visst bidrag til global klimaendring gir også flyktige hydrokarboner. En ser av figuren at dette utslippet oppstår først og fremst i transport av råolje og raffinering.



Figur 4.4.4 Potensielt bidrag til global klimaendring for framstilling og transport av petroleumdiesel (forbrenning i motor ikke inkludert)

4.4.4 Referanser vedrørende petroleumdiesel

Førde, J.S., Hanssen, O.J., Rønning, A. 1993. Livsløpsvurdering av drivstoffprodukter. Stiftelsen Østfoldforskning, OR.49.93.

Sheehan J., Camobreco V., Duffield J., Graboski M., Shapouri H. Life Cycle Inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus. Final report May 1998. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado (NREL/SR-580-24089) 286 p.

Statoil 1997. Årsrapport til Statens forurensningstilsyn, Statfjord Boring og Drift 1996. PRS-971115.

4.5 Sammenligning av de tre produktsystemene

Målet med prosjektet var som tidligere nevnt å oppnå en dokumentasjon på den varige klimagass-effekten ved ulike CO₂-baserte algeprodukter. I dette delkapitlet er det gjort en sammenligning mellom energiformene biodiesel, petroleumdiesel og hydrogenass.

En viktig forutsetning for et energiproduksjons-system er at tilført energi er mindre enn produsert energi. For petroleumsdiesel "forsvinner" ca. 6,5 % av energiutbyttet i produksjonen. For hydrogenproduksjonen har vi kommet fram til et noe større "tap", ca. 20%. For produksjon av biodiesel i lukket reaktor med pumping av kulturen er energiforbruket for stort til at det er et aktuelt alternativ. Bruk av "air-lift" i stedet for pumping, eller dyrking i åpne dammer, kan være alternativer som kan gi en mer energieffektiv produksjon av biodiesel fra mikroalger.

Sammenligningene av de ulike systemene viser at utslipp av CO₂ og andre klimagasser totalt er størst for petroleumsdiesel. Biodiesel kommer ut med 35% lavere påvirkning, og kan reduseres ytterligere ved resirkulering av næringsstoffene. En erstatning av petroleumsdiesel med biodiesel basert på alger vil derfor kunne føre til en reduksjon av klimagassutslippene med opp mot 50%. For begge disse systemene er de fleste bidragene knyttet til framstilling og forbrenning av brenselet. Det er relativt små bidrag fra distribusjon av brensel. Dette gjelder også forbruk av energi. Disse resultatene tyder på at plassering av anlegget og distribusjonsveier er av mindre betydning for miljøprofilen for de to systemene.

Vi har ikke inkludert distribusjon av hydrogengass til forbruker, siden det ikke finnes noe opplegg for dette i dag. For biodiesel og petroleumsdiesel var som nevnt distribusjonsleddet av relativt liten betydning. Konklusjonene blir derfor sannsynligvis uendret om man inkluderer distribusjonsleddet også for hydrogengass. Vi må også poengtere at hydrogengass-systemet er basert på forutsetninger som ikke er utprøvd i stor skala, og at heller ikke separering av hydrogengass er inkludert i systemet. Det er liten grunn til å tro at separering av gassen vil bidra vesentlig til klimagassutslipp.

Hydrogengass-systemet gir et nærmest neglisjerbart bidrag til globalt oppvarmingspotensial (GWP). Hydrogengass fra algeproduksjon vil kunne bety en reduksjon av GWP på mer enn 90% i forhold til bruk av fossil diesel.

5. Konklusjoner

- Med de forutsetninger vi har lagt til grunn for algeproduksjon med aktiv pumping av kulturen, er det relativt energikrevende å produsere fôr fra algebiomasse i lukkede reaktorer, omtrent dobbelt så høyt som ved produksjon av fiskemel, og betydelig høyere enn ved produksjon av soyamel.
- Det er trolig et potensiale for å redusere energibruken vesentlig, slik at en kommer ned på et nivå på ca. halvparten av det som kreves for å produsere fiskemel, og i nærheten av det som kreves for å produsere soyamel.
- Det må forutsettes at spillvarme kan betraktes som et avfallsprodukt og ikke belaster systemet.
- Energiforbruket ved produksjon av alger er hovedsakelig elektrisk energi, mens den i større grad er av fossil opprinnelse ved produksjon av fiskemel og soyamel.
- Energi til pumping utgjør det største energiforbruket ved produksjon av alger i lukkede reaktorer, når en baserer seg på eksisterende løsninger for aktiv pumping av kulturen.
- Ved å erstatte fiskemel og soyamel med algemel, kan utslippene av klimagasser knyttet til disse produktene reduseres vesentlig, forutsatt at kunstgjødsel kan erstattes med andre kilder for næringssalter som ikke bidrar til utslipp av klimagasser.
- Produksjon av biodiesel fra alger dyrket i lukkede reaktorer med pumping av kulturen krever mer energi enn en får ut av produktet.
- Bruk av "air-lift"-systemer i stedet for pumping, eller dyrking i åpne dammer, kan tenkes å gi et positivt energiutbytte av biodiesel, og kan i så fall gi en reduksjon i utslipp av klimagasser på opp mot 50% sammenlignet med petroleumsdiesel.
- Hydrogengass fra mikroalger kan trolig i framtida kunne produseres med et energiforbruk på ca. 20% av energiutbyttet, sammenlignet med ca. 6,5% for petroleumsdiesel. Dette bygger på enkelte forutsetninger om produktivitet som ennå ikke er realisert.
- Hydrogengass fra algeproduksjon vil kunne bety en reduksjon i utslipp av klimagasser på mer enn 90% i forhold bruk av fossil diesel.