



Prosjektnotat nr. 3 - 2016

Harald Throne-Holst, Gunnar Vittersø, Line Barkved, Trine Dale og Tore Brembu

# Etiske, lovmessige, samfunns- messige og miljømessige aspekter ved bruk av mikroalger for CCS

 NTNU

 NIVA

Norsk institutt for vannforskning

 SIFO


Forbruksforskningsinstituttet

HØGSKOLEN I OSLO  
OG AKERSHUS

© Forbruksforskningsinstituttet SIFO – Høgskolen i Oslo og Akershus  
Prosjektnotat nr. 3 – 2016

Forbruksforskningsinstituttet SIFO – Høgskolen i Oslo og Akershus  
Sandakerveien 24 C, Bygg B  
Postboks 4 St. Olavs plass  
0130 Oslo  
[www.sifo.no](http://www.sifo.no)

Det må ikke kopieres fra denne rapporten i strid med åndsverksloven. Rapporter lagt ut på Internett, er lagt ut kun for lesing på skjerm og utskrift til eget bruk. Enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring utover dette må avtales med SIFO. Utnyttelse i strid med lov eller avtale, medfører erstatningsansvar.

<b>Tittel</b> Etiske, lovmessige, samfunnsmessige og miljømessige aspekter ved bruk av mikroalger for CCS	<b>Antall sider</b> 50	<b>Dato</b> 22.02.2016
<b>Title</b> Ethical, legal, societal and environmental aspects on the use of microalgae for CCS.		
<b>Forfattere</b> Harald Throne-Holst (SIFO), Gunnar Vittersø (SIFO), Line Barkved (NIVA), Trine Dale (NIVA) og Tore Brembu (NTNU)	<b>Prosjektnummer</b> 11-2014-21	<b>Faglig ansvarlig sign.</b> 
<b>Oppdragsgiver</b> Norges forskningsråd – IdéLab		
<b>Sammendrag</b> Den foreliggende rapporten tar for seg miljømessige, etiske, juridiske og sosiale aspekter (ELSA) ved bruk av mikroalger for opptak og lagring av CO <sub>2</sub> , ofte kalt CCS (Carbon Capture and Storage), på norsk «karbonfangst og lagring». Gjennom gjødsling av havområder eller liknende grep, kan en kraftig algeoppblomstring initieres. For CCS vil det være ønskelig at algeoppblomstringen består av utvalgte arter med egenskaper som gjør at de faller hurtig til havbunnen og sedimenteres, eventuelt lagres i dypere liggende vannmasser. Et slikt inngrep er å regne som kontroversielt, det var derfor ønskelig at man, som del av μ-alge-prosjektet, vurderte ELSA-aspektene ved dette. Rapporten er ikke ment som en uttømmende redegjørelse for karbonfangst og lagring ved bruk av mikroalger; den er ment som et grunnlag for beslutninger om videre forskningsaktivitet knyttet til slik anvendelse innenfor prosjektet. I dette prosjektet snakker vi ikke bare om gjødsling, men også selektering av alger for såing (inokulering) i havet. Samtidig belyser rapporten også noen av de vurderinger og spørsmål som bør tas hensyn til i forskning på dette feltet.		
<b>Summary</b> This report concerns the ethical, legal, social and environmental aspects of the potential use of μ-algae for carbon capture and storage (CCS). Through ocean fertilization or similar measures, major algae blooms can be initiated. For CCS purposes, it would be desirable that such blooms occur with selected algal species that rapidly sink to the ocean floor and sediment, alternatively are stored in deep ocean levels. Such a measure is controversial, and it is therefore desirable, as a part of the μ-algae project, considered the ELSA aspects related to this. This report is not a complete assessment for the use of μ-algae for CCS-purposes; rather it is intended as the base for the decision on further research in this project for such purposes. In the project, not only ocean fertilization has been considered, but even the selection of species for sowing (inoculation) in the ocean. The report highlights some of the evaluations and questions that should be taken into account when doing research in this field.		
<b>Stikkord</b> Mikroalger, μ-alger, CCS, geoengineering, karbonnegative klimatiltak, etiske, legale, samfunnsmessige aspekter (ELSA), miljøaspekter, havgjødsling, stakeholderintervjuer, stakeholderworkshop		
<b>Keywords</b> Microalgae, μ-algae, CCS, geoengineering, carbon negative climate measures, Ethical, legal and societal aspects (ELSA), environmental aspects, ocean fertilization, stakeholder interviews, stakeholder workshop		

Aspekter ved bruk av mikroalger for CCS

# Etiske, lovmessige, samfunnsmessige og miljømessige aspekter ved bruk av mikroalger for CCS

av

Harald Throne-Holst (SIFO), Gunnar Vittersø (SIFO), Line Barkved (NIVA),  
Trine Dale (NIVA) og Tore Brembu (NTNU)

2016

Forbruksforskningsinstituttet SIFO  
Høgskolen i Oslo og Akershus  
Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo



## Forord

Denne rapporten er en del-leveranse i  $\mu$ -alge-prosjektet. Dette prosjektet er finansiert av Norges forskningsråd (Prosjektnr. 238851/O70), og ble initiert under den første Idé-Lab'en i Forskningsrådets regi i januar 2014. Det var et spleiselag mellom flere forskningsprogrammer: Nano2021, BioTek2021 og IKT-programmene. Alle disse programmene har en viss tradisjon for å stille krav til at nye prosjekter skal ha en ELSA-del.

Arbeidet med denne rapporten er en del av  $\mu$ -algeprosjektets arbeidspakke (WP) 6: ELSA issues, stakeholder processes and environmental aspects. Arbeidspakken ledes av SIFO ved Harald Throne-Holst. I tillegg til Gunnar Vittersø og Harald Throne-Holst ved SIFO, har Line Barkved og Trine Dale fra NIVA, og Tore Brembu ved NTNU bidratt til utarbeidelsen av rapporten.

Rapporten er et viktig innspill til prosjektgruppens diskusjoner og avgjørelse om hvorvidt prosjektet skal videreføre screening og utvalg av algearter som kan egne seg for karbonfangst og lagring.

Prosjektleder for  $\mu$ -algeprosjektet er Vidar Remi Jensen ved Universitetet i Bergen.

Oslo, februar 2016

Forbruksforskningsinstituttet SIFO  
Høgskolen i Oslo og Akershus





# Innhold

Forord.....	5
Innhold .....	7
Sammendrag.....	9
Summary .....	11
1 Innledning .....	13
1.1 Problemstillinger og rapportens oppbygning .....	14
2 Metoder.....	15
3 Mikroalger for karbonfangst og lagring (CCS).....	17
3.1.1 Mulig egnede algetyper.....	18
3.1.2 Hva er potensialet for karbonfangst og -lagring ved havgjødsling?.....	19
3.2 Sortering av begreper - CCS vs CCU –.....	19
3.3 Miljøaspekter.....	20
4 ELSA-perspektivet.....	25
4.1 ELSA-aspekter .....	26
4.1.1 Ethiske aspekter .....	26
4.1.2 Juridiske aspekter .....	27
4.1.3 Sosiale aspekter.....	27
4.2 Risikosamfunnet og refleksivitet.....	27
5 Analyse .....	29
5.1 Ethiske aspekter .....	29
5.2 Juridiske aspekter .....	30
5.3 Samfunnsmessige aspekter.....	31
6 Konklusjoner.....	35
7 Referanser .....	37
8 Vedlegg.....	41
8.1 Intervjuguide .....	41
8.2 Samtykkeerklæring .....	42
8.3 Program og deltakere på workshop 19.05.15.....	43
8.4 Referat fra workshop 19.05.15.....	44



## Sammendrag

Den foreliggende rapporten tar for seg miljømessige, etiske, juridiske og sosiale aspekter (ELSA) ved bruk av mikroalger for opptak og lagring av CO<sub>2</sub>, ofte kalt CCS (Carbon Capture and Storage), på norsk «karbonfangst og lagring». Gjennom gjødsling av havområder eller liknende grep, kan en kraftig algeoppblomstring initieres. For CCS vil det være ønskelig at algeoppblomstringen består av utvalgte arter med egenskaper som gjør at de faller hurtig til havbunnen og sedimenteres, eventuelt lagres i dypere liggende vannmasser. Et slikt inngrep er å regne som kontroversielt, det var derfor ønskelig at man, som del av  $\mu$ -alge-prosjektet, vurderte ELSA-aspektene ved dette. Rapporten er ikke ment som en uttømmende redegjørelse for karbonfangst og lagring ved bruk av mikroalger; den er ment som et grunnlag for beslutninger om videre forskningsaktivitet knyttet til slik anvendelse innenfor prosjektet. I dette prosjektet snakker vi ikke bare om gjødsling, men også selektering av alger for såing (inokulering) i havet. Samtidig belyser rapporten også noen av de vurderinger og spørsmål som bør tas hensyn til i forskning på dette feltet.



## Summary

This report concerns the ethical, legal, social and environmental aspects of the potential use of  $\mu$ -algae for carbon capture and storage (CCS). Through ocean fertilization or similar measures, major algae blooms can be initiated. For CCS purposes, it would be desirable that such blooms occur with selected algal species that rapidly sink to the ocean floor and sediment, alternatively are stored in deep ocean levels. Such a measure is controversial, and it is therefore desirable, as a part of the  $\mu$ -algae project, considered the ELSA aspects related to this. This report is not a complete assessment for the use of  $\mu$ -algae for CCS-purposes; rather it is intended as the base for the decision on further research in this project for such purposes. In the project, not only ocean fertilization has been considered, but even the selection of species for sowing (inoculation) in the ocean. The report highlights some of the evaluations and questions that should be taken into account when doing research in this field.



# 1 Innledning

Den foreliggende rapporten tar for seg miljømessige, etiske, juridiske og sosiale aspekter (ELSA) ved bruk av mikroalger for opptak og lagring av CO<sub>2</sub>, ofte kalt CCS (Carbon Capture and Storage), på norsk «karbonfangst og lagring». Gjennom gjødsling av havområder eller liknende grep, kan en kraftig algeoppblomstring initieres. For CCS vil det være ønskelig at algeoppblomstringen består av utvalgte arter med egenskaper som gjør at de faller hurtig til havbunnen og sedimenteres, eventuelt lagres i dypereliggende vannmasser. Et slikt inngrep er å regne som kontroversielt, det var derfor ønskelig at man, som del av  $\mu$ -alge-prosjektet, vurderte ELSA-aspektene ved dette. De første utkastene til  $\mu$ -alge-prosjektet ble evaluert av mentorer som var tilstede på IdeLab'en i regi av Forskningsrådet i 2014. De kom med tips og kommentarer til videreutvikling av prosjektet. Spesielt hva gjelder ELSA, ble prosjektet bedt om: “(...) *more analysis of social, ethical and regulatory dilemmas on carbon capture, which are acute*”. Rapporten er ikke ment som en uttømmende redegjørelse for karbonfangst og lagring ved bruk av mikroalger; den er ment som et grunnlag for beslutninger om videre forskningsaktivitet knyttet til slik anvendelse innenfor prosjektet. I dette prosjektet snakker vi ikke bare om gjødsling, men også selektering av alger for såing (inokulering) i havet. Samtidig belyser rapporten også noen av de vurderinger og spørsmål som bør tas hensyn til i forskning på dette feltet.

Bruk av mikroalger for CCS er et såkalt klimamanipulerende tiltak og i mange sammenhenger også benevnt som «geoengineering». I følge den Nasjonale forskningsetiske komité for naturvitenskap og teknologi (NENT) brukes klimamanipulering «(...) gjerne som samlebegrep om teknologier som griper inn i klimaet i stor skala for å bremse og reparere effektene av global oppvarming.»<sup>1</sup> Ofte skilles det mellom to metoder: å styre solens stråling eller å fjerne CO<sub>2</sub> fra atmosfæren (Ginzky & Frost 2014). Bruk av mikroalger for CCS hører til den andre av disse metodene. Videre skriver NENT: «Dette er et forskningsfelt som foreløpig er lite utprøvd, men som mange tenker vil aktualiseres de kommende årene. Samtidig er dette et felt som er preget av stor usikkerhet og kompleksitet.»<sup>2</sup>

Mikroalgers evne til å binde karbon varierer svært mye fra art til art, og det samme er tilfellet når det gjelder mengde og type av kjemiske forbindelser de produserer. I prosjektet vil denne biodiversiteten bli utnyttet til å utvikle alger med ønskede egenskaper, via screening og naturlig utvalg i laboratorieforsøk. Mikroalgene produserer en rekke kjemiske forbindelser, som planteoljer (lipider) og fettsyrer, og disse er verdifulle og stort sett utnyttede fornybare ressurser som kan inngå i matproduksjon, dyrefôr og i

---

<sup>1</sup> <https://www.etikkom.no/Aktuelt/Tidligere-arrangementer/klimamanipulering-og-etikk/>

<sup>2</sup> <https://www.etikkom.no/Aktuelt/Tidligere-arrangementer/klimamanipulering-og-etikk/>

industrielle prosesser der de kan erstatte fossile ressurser. Både 1) algenes kapasitet til å binde karbondioksid, som kanskje kan utvikles til et fremtidig (nøds)verktøy for å begrense global oppvarming, og 2) evnen til å produsere komplekse og nyttige kjemiske forbindelser, vil bli utforsket i prosjektet. Den foreliggende rapporten relaterer seg til tematikk 1).

Rapporten bygger på i) litteraturgjennomgang, ii) intervjuer med ulike stakeholdere, både direkte berørte og myndigheter, det vil si interesser som vil kunne bli berørt om man initiere en algeoppblomstring, iii) diskusjoner innad i konsortiet iv) deltakelse på relevante fagseminarer og møter, og v) innlegg og dialog på en workshop med inviterte stakeholdere i regi av prosjektet.

## 1.1 Problemstillinger og rapportens oppbygning

I den siste rapporten fra FNs klimapanel (IPCC 2014) legges det stor vekt på behovet for såkalte *karbonnegative* klimatiltak, altså teknologier som kan ta CO<sub>2</sub> ut av kretsløpet. Det er i denne sammenheng at ideen om å gjødsle og/ eller så mikroalger i havet har vært aktualisert. Dersom det oppstår en akutt situasjon og hvor andre tiltak ikke viser seg å være effektive, er dette diskutert som en mulig nødløsning. Det er allerede gjennomført enkelte forsøk med havgjødsling og et spørsmål er om denne type forskningsvirksomhet bør videreføres.

Bruk av mikroalger for CCS vil berøre en rekke ulike interesser enten dette blir gjort som forsøksvirksomhet i mindre skala, eller blir gjennomført som et fullskala tiltak. Dette vil gjelde enten dette foregår i en fjord eller ute i havet. Imidlertid vil skala på forsøket/tiltaket sannsynligvis ha ulik betydning av etisk, juridisk, sosial og miljømessig art avhengig av hvor man velger å utvikle dette. Overordnet problemstillinger for rapportens arbeid har vært:

- Under hvilke forutsetninger vil det kunne åpnes for en forskningsbasert utprøving med bruk av mikroalger for CCS?
- Gitt at disse forutsetningene er til stede, vil det være tilrådelig å videreføre forskningsaktiviteten knyttet til mikroalger for CCS?<sup>3</sup>

I kapittel 2 går vi kort gjennom metodene som er benyttet. Deretter redegjør vi for hvordan mikroalger kan brukes til CCS, og deres mulige potensial. Så følger en introduksjon til ELSA-perspektivet før vi går igjennom de 3 ulike aspektene hver for seg; etiske, regulatoriske og samfunnsmessige. Denne gjennomgangen vil lede opp til en konklusjon om videre forskning på mikroalger for CCS innenfor prosjektet.

---

<sup>3</sup> Fra prosjektbeskrivelsen for mikroalge-prosjektet:

The hypothesis forming the basis for the current project is that, since the carbon-harvesting properties vary between algae, the carbon-binding properties of microalgae may be improved through controlled selection and growth. We hypothesize that such algae can be selected to grow fast, with high density, and to efficiently generate sediments. We also suggest a series of selection experiments directed towards identification of algae rich in lipids (oils) serving as a starting point for food and feedstock for chemical production.

It is known that microalgae generally are rich in lipids.<sup>2</sup> However, exploring the potential of selecting algae that will respond to environmental cues to maximize carbon capture is novel and one that could have an additional impact on food and renewable feedstock markets due to the potential scale with which microalgae could potentially deliver suitable lipids.



## 2 Metoder

Arbeidet har vært utført i et ELSA-perspektiv (se nedenfor kapittel 4). Vi har som del av arbeidet også sett på miljømessige aspekter ved bruk av mikroalger til CCS.

Dette er et felt hvor ikke så mange svar foreligger ennå, og som preget vår tilnærming til innsamling av data. Hvordan kan vi vite mer? Ønsker vi å vite mer? Beslutningsgrunnlag for videre studier / utvikling. Hva tenker aktørene (stakeholderne) at de mangler for at man skal ta en beslutning på dette? Hva er de bekymret for? Hvilken kunnskap må legges til rette?

Datakilder har vært sekundær litteratur, intervjuer med stakeholdere, deltakelse på relevante seminarer og interne møter.

- Vi har totalt foretatt 6 intervjuer blant sentrale aktører i perioden september 2014 til februar 2015: Miljødirektoratet (2), Klima- og miljødepartementet, Bellona, Fiskeri- og havbruksnæringens Landsforening (FHL) og Norsk Algeforening (v/Selskapet for Norges Vel). Målsetningen med intervjuene har ikke vært å foreta en uttømmende interessent og stakeholder analyse, men å få fram viktige innspill og argumenter, både positive og negative, knyttet til tematikken (se vedlegg 8.1 for intervjuguide). En stakeholder workshop ble arrangert i mai 2015 med 15 deltakere. (Se program og deltakerliste i vedlegg 8.3 samt referat fra workshop i vedlegg 8.4 )
- Refleksiv øvelse. Interne prosjektdiskusjoner og refleksjoner

Det framgikk tidlig i arbeidet at dette er et sterkt regulert felt og et nasjonalt anliggende slik at en lokal case studie, som var antydnet i prosjektbeskrivelsen, ikke var hensiktsmessig på dette tidspunkt. Etter vår vurdering gav det størst mening å foreta analyser på et nasjonalt nivå, med eventuelle diskusjoner rundt design av en lokal forskningsstudie.

Behandling av miljøaspekter er basert på en litteraturstudie og ekspertdialog, hvor hensikten har vært å vurdere blant annet mulighetene for hvordan en potensiell modellstudie for marine effekter vil kunne se ut (noe som var utenfor rammen av dette prosjektet).



### 3 Mikroalger for karbonfangst og lagring (CCS)

Marine planteplankton (mikroalger som lever i de frie vannmassene) er ansvarlig for ca. 40 % av global karbon-fiksering (Field et al., 1998). Dette skjer nær havoverflaten, men en del av planteplanktonet synker ned i dypere vannlag, og trekker dermed med seg næringsstoffer og fiksert CO<sub>2</sub>. Dette kalles for den biologiske karbonpumpen (Chisholm, 2000). Mesteparten av karbonet blir etter hvert tilbakeført til atmosfæren ved beiting på planteplanktonet av dyreplankton og andre arter, samt bakteriell nedbryting av gjenværende karbonforbindelser. En liten del (>1%) av planktonet synker helt ned til sedimentene i havbunnen; karbon som er fanget i disse organismene blir fjernet fra atmosfæren for lengre tidsrom (1000 til millioner av år). Den biologisk karbonpumpen er svært viktig for jordens klima. Hvis den hypotetisk skulle slutte å virke over natten ville nivået av atmosfærisk CO<sub>2</sub> øke med mer enn 100 ppm på bare noen få tiår (Sarmento & Gruber 2006).

I størsteparten av verdenshavene er primærproduksjon begrenset av tilgangen på enten nitrogen (N) eller fosfor (P). I en tredjedel av havområdene er jern (Fe) den begrensende faktoren, mens konsentrasjonen av N og P er høy. Disse områdene inkluderer Sørishavet rundt Antarktis, det nordvestlige Stillehavet, ekvatoriale Stillehavet øst for Sør-Amerika, og det nordlige Atlanterhavet (se review av Moore et al., 2013). I alle næringsbegrensede deler av havet kan tilsats av det begrensende næringsstoffet (jern: sporstoff) forventes å fungere som "gjødning", og resultere i økt vekst av planteplankton og potensielt økt produksjon i alle trofiske nivåer (Williamson et al., 2012).

I de siste tiårene har "havgjødning" blitt foreslått som en strategi for å redusere den atmosfæriske CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen (Martin, 1990). Konseptet er at en tilsats av jern til havområder der jern er begrensende vil resultere i økt fiksering av CO<sub>2</sub> gjennom fotosyntese, og økt eksport av CO<sub>2</sub> fra havoverflaten ved at døde algeceller synker til havbunnen. Tretten havgjødningseksperimenter har blitt gjennomført i perioden 1993 til 2009 (Boyd et al., 2007), der opp til 10 tonn jern har blitt tilsatt til ulike havområder. I de fleste tilfellene førte gjødningen til en algeoppblomstring; hvilke typer planteplankton som har dominert disse oppblomstringene har variert, delvis med bakgrunn i den øvrige nærings sammensetningen.

For de fleste havgjødningseksperimentene ble det ikke påvist økt eksport av karbon fra havoverflaten til dypere vannmasser, enten fordi eksperimentet ble avsluttet før algeoppblomstringen sedimenterte, på grunn av økt mengde dyreplankton som beitet på algeoppblomstringen, eller av metodologiske grunner. I et havgjødningseksperiment gjennomført i Sørishavet i 2004, klarte forskerne derimot å måle at minst halvparten av karbonet fiksert av algeoppblomstringen sank til dybder på mer enn 1000 m (Smetacek

et al., 2012). Oppblomstringen var dominert av kiselalger. I tredje uke av oppblomstringen gjennomgikk en del av kiselalgene, spesielt kjedeformende arter av slekten *Chaetoceros*, massedød, dannet aggregater og sank ned fra overflaten (Assmy et al., 2013).

I en oppsummering av resultatene fra havgjødslingseksperimentene blir det pekt på at plankton-sammensetningen ved starten av eksperimentene har vært av stor betydning for utfallet, med tanke på størrelse og varighet av algeoppblomstringen (Boyd, 2013). Dette skulle tale til fordel for et havgjødslingskonsept der oppblomstringen ”styres” ved tilsetning av alger som er optimalisert for karbonfangst.

Norge har vært representert i flere av de store internasjonale havgjødslingsstudiene (Croot et al., 2005; Bakker et al., 2005; Berg et al., 2011; Smetacek et al., 2012; Assmy et al., 2013; Assmy et al., 2014; Thiele et al., 2015). Forskning rundt karbonfangst og -lagring gjennom havgjødsling har i liten grad blitt gjort i Norge, men forsøk med kunstig eller naturlig gjødsling i fjordsystemer har blitt gjennomført.

I Lysefjorden ved Stavanger har det blitt gjort forsøk med kunstig oppstrømning av næringsrikt vann, og effekten av dette på primærproduksjon ble studert (Aure et al., 2007). Oppstrømningen førte til transport av ca. 450 kg/dag av nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), 760 kg/dag av silikat ( $\text{SiO}_4$ ) og 75 kg/dag av fosfat ( $\text{PO}_4$ ). Den kunstige oppstrømningen resulterte i en tredobling av konsentrasjon av det fotosyntetiske pigmentet klorofyll a (Chl a), som er et mål på primærproduksjon, i et område på 10 km<sup>2</sup>.

I en annen studie ble åtte store beholdere med sjøvann lokalisert i Hopavågen sørvest for Trondheim tilsatt ulike mengder av en næringsblanding (Si:N:P = 16:16:1). Den største næringsstilsatsen førte til kraftig økning av primærproduksjon, fra ca. 0.47  $\mu\text{g C L}^{-1} \text{dag}^{-1}$  til 1027  $\mu\text{g C L}^{-1} \text{dag}^{-1}$  ni dager etter tilsats (Børsheim et al., 2005.). Algeoppblomstringen var dominert av kiselalger, som økte fra > 1% til ca. 90 % av total biomasse.

### 3.1.1 Mulig egnede algetyper

I lys av disse eksperimentene er det mulig å sette opp enkelte kriterier som er nødvendige for å oppnå høyest mulig transport av karbon fra havoverflaten til havbunnen:

1. Jern er det begrensende grunnstoffet i havområdet, men andre næringsstoffer som nitrogen, fosfor og silikat må være til stede i høye konsentrasjoner. Silikat er nødvendig for vekst hos kiselalger fordi celleveggen til kiselalger er silikatbasert.
2. Algeoppblomstringen må domineres av kiselalger som er kjededannende og aggregerer lett, som *Chaetoceros*-arter.
3. Predatorpresset må ikke være så høyt at aggregater av kiselalger ikke rekker å sedimentere før de blir spist.

Basert på kriterium 2 har prosjektet valgt å studere fire stammer av kiselalger fra algesamlingen til NIVA som del av arbeidet som er tenkt foretatt ved NTNU:

- *Chaetoceros diadema*
- *Chaetoceros gracile*
- *Skeletonema costatum*
- *Skeletonema marinoi*

*C. diadema* og *C. gracile* er begge kjedeformende arter og er derfor gode kandidater for "seeding" av en algeoppblomstring. *S. costatum* og *S. marinoi* er ikke kjedeformende, men har relative stor cellestørrelse, noe som vil øke sedimenteringshastigheten. I tillegg har vi anskaffet en stamme av *Chaetoceros muelleri*. *C. muelleri* er ikke kjedeformende, men kan tenkes å danne aggregater ved hjelp av børstene som stikker ut fra cellene.

Alle stammene med unntak av *C. muelleri* er isolert fra norske fjorder. Hvis man opererer med et regionalt scenario der Norskehavet blir gjødslet, kan det være viktig å bruke arter som forekommer naturlig i farvannene. Det er et åpent spørsmål om disse algene skal såes (inokuleres) sammen med gjødslingen.

### 3.1.2 Hva er potensialet for karbonfangst og -lagring ved havgjødsling?

Ulike studier fant at potensialet for karbonopptak ved havgjødsling over et 100-årsperspektiv var fra 0,26 til 0,75 Gt/år (Aumont og Bopp, 2006; Zahariev et al., 2008). En annen studie estimerte at maksimalt karbonopptak ved havgjødsling bare ville føre til en reduksjon av atmosfærisk CO<sub>2</sub>-konsentrasjon fra 965 ppm til 883 ppm i 2100, dvs. mindre enn 10 % (Cao & Caldeira, 2010). Modellering av effekten av en slik havgjødsling på pH i havet indikerte at dypere vannmasser vil bli betydelig forsuret. Keller og medforfattere sammenlignet fem ulike metoder for «klimamanipulering» som er foreslått for å motvirke klimaendringer: beplantning av ørkenområder, kunstig havoppstrømming, hav-alkalisering, havgjødsling og redusert solinnstråling (Keller et al., 2014). Med unntak av redusert solinnstråling førte ingen av metodene til noen betydelig reduksjon av global oppvarming i modellene som ble brukt. Videre hadde alle metodene ulike alvorlige bieffekter, og flere kunne ikke bli avsluttet uten å føre til raske klimaendringer. Havgjødsling ble beregnet til å redusere global oppvarming med ca. 0,15°C i 2100, ved at ca. 90 Gt karbon ble fjernet fra atmosfæren.

## 3.2 Sortering av begreper - CCS vs CCU –

Vi ser i både litteraturen og blant aktører at CCS (Carbon Capture and Storage) og CCU (Carbon Capture and Usage/Utilisation) i flere tilfelles forveksles. Denne rapporten tar i hovedsak for seg CCS med mikroalger (spesifikt havgjødsling), men vi ser behovet for å rydde i og avklare begrepsbruken og forskjellen i de to konseptene. Videre så observerer vi stort sett enighet blant aktører om at alger er relevant og viktig som en råvare, og til karbonfangst. Det er i det siste ledd – lagringen eller utnyttelsen – at flere reservasjoner melder seg.

Zero Emissions Platform (ZEP) publiserte i 2013 en rapport som tar for seg potensialet for karbonfangst og utnyttelse (Carbon Capture and Use (CCU) and Capture Use and Storage (CCS)), gjennom kombinasjon av CCS med Enhanced Oil Recovery (EOR), geothermal heat production, CO<sub>2</sub> mineral storage etc. ZEP (2013)<sup>4</sup> konkluderer med at CCU kan tilføre signifikant økonomisk verdi til et CCS prosjekt, selv om det kun er snakk om *midlertidig* lagring av karbon. Forskjellene her er altså i lagringsdelen og tidsperspektivet for å holde i sjakk, redusere og / eller fjerne karbon. Det er kun når karbonet tas ut av systemet for godt eller i et veldig langt tidsperspektiv (100 år eller mer) vi kan snakke om karbonnegativ teknologi.

<sup>4</sup> <http://www.zeroemissionsplatform.eu/library/publication/244-ccu.html>

Det er også slik at de ønskede egenskapene for en mikroalge ikke vil være de samme for bruk for CCS som CCU. Det vil være vanskelig å finne en alge som er ideell for begge formål. Algene har høyest lipid-innhold når de er stresset, som er motstridene med ønsket om stor algevekst når de har gode næringsforhold. Dersom det dyrkes alger for brukes som innsatsfaktor tas kun ut av systemet midlertidig. Det er kun det som sedimenteres (på havbunnen) som tas ut av systemet permanent. Hvor mye som sedimenterer vil variere mellom ulike marine systemer. For at konseptet skal virke ønsker man å øke algebiomassen, men også få et skifte til arter man ønsker (f.eks kiselalger). Flere studier har vist at man ikke alltid får den tilsiktede endringen (se nedenfor).

### 3.3 Miljøaspekter

Som diskutert over er det knyttet usikkerhet til om hvorvidt konseptet med havgjødsling vil fungere; vil vi klare å stimulere algeveksten tilstrekkelig til å få et signifikant høyere opptak av atmosfærisk CO<sub>2</sub> og i neste runde fjerne dette lenge nok til at det får en positiv klima effekt?

Hvis vi tar utgangspunkt i at konseptet vil fungere vil et påtrengende neste spørsmål være hvilke potensielle miljøkonsekvenser det vil ha? Wallace et al. (2010) oppsummerte en rekke utilsiktede miljøkonsekvenser av havgjødsling i sitt arbeid «Ocean fertilization: a scientific summary for policy makers» i regi av UNESCO. Denne listen av potensielle negative miljøkonsekvenser har senere blitt utvidet og utdypet (e.g. Williamson et al., 2012).

Ofte nevnte konsekvenser er:

- 1) økt produksjon av andre klimagasser
- 2) reduserte oksygenkonsentrasjoner i intermediære lag (mesopelagialen)
- 3) endret mønster for hvor man får havforsuring
- 4) endringer i produktivitet i områder utenfor de som er gjødslet
- 5) effekter på bentiske økosystemer

I tillegg er den tilsiktede effekten av gjødsling i seg selv en endring av systemet i de øvre vannmassene som kan betraktes som positiv eller negativ alt etter som man ser det (6).

Nedenfor går vi gjennom disse potensielle konsekvensene.

- 1) Økt produksjon av andre klimagasser

I gjødslingsforsøkene som er gjort med jern har det vist seg at man får en økning i andre klimagasser som produseres ved algevekst -og nedbrytning. Gasser som har vært bragt frem i denne sammenhengen er dimetylsulfid (DMS), dinitrogenoksid (N<sub>2</sub>O) og metan (CH<sub>4</sub>), hvor de to sistnevnte er mye mer potente klimagasser enn CO<sub>2</sub> (henholdsvis 320 og 20 ganger).

Betydningen av DMS i klimasammenheng er bygget på en hypotese om at gassen (gjennom en rekke kjemiske reaksjoner) påvirker dannelse av partikler som igjen er involvert i skydannelse. Høy DMS fra havet vil gi høyere albedo (refleksjon av sollys) fra skyer og dermed redusere mengden strålingsenergi som når jordoverflaten. Redusert solinnstråling ville gi en endring i mengden av de planktonalgeartene som produserer DMS og man har en feedback loop. Nylige arbeider har imidlertid vist at linken mellom klima og DMS er svakere enn tidligere antatt. Woodhouse et al. 2010, Quinn & Bates

2011), og sistnevnte forfattere går så langt som å antyde at hele hypotesen rundt DMS og biologisk klima feedback bør forkastes. Noen gjødslingsstudier har vist en økning i DMS produksjon (e.g. Turner et al., 2004; Wingenter et al., 2004), noen har ikke har påvist effekt (Nagao et al., 2009), mens andre igjen har vist redusert DMS produksjon (Levasseur et al., 2006).

N<sub>2</sub>O og CH<sub>4</sub> oppstår i intermediære til dypere vannlag når den synkende biomassen brytes ned. På grunn av at disse gassene er mer potente enn CO<sub>2</sub> kan de potensielt motvirke de ønskede effektene av CO<sub>2</sub> reduksjonen (Law, 2008). I teorien er faren for at «vinningen går opp i spinningen», høyere i områder hvor man i utgangspunktet har lave oksygen nivåer slik som i tropene (utvisker 40-70% av effekten av redusert CO<sub>2</sub>), mens det i områder med høye oksygennivåer slik som i Sørishavet bare vil være en mindre reduksjon av CO<sub>2</sub> «effekten» (Jin & Gruber, 2003). Det siste underbygges av resultater fra jerngjødslingsprosjektet i EIHEX i Sørishavet hvor økningen i N<sub>2</sub>O var liten (Walter et al., 2005).

## 2) Reduserte oksygen nivåer i intermediære lag

Den økte biomassen som gjødslingen forårsaker vil bli brutt ned og forbruke oksygen i de lagene hvor dette skjer. Hvorvidt dette vil føre til «mid-water oxygen depletion» er usikkert, og man har ikke observert dette i jerngjødslingeksperimentene gjort så langt (Williamson et al. 2012). Også her er det grunn til å tro at potensialet for dannelse av oksygenfrie vannlag, og økologisk konsekvenser ikke er de samme overalt. Man holder f.eks. frem faren ved gjødsling i områder som ligger nær allerede kjente områder med lave oksygen nivåer (oxygen minimum zone), eller nær soner med «upwelling» hvor de oksygenfattige vannmassene bringes til overflaten (Chan et al. 2008).

## 3) Endret mønster i hvor man får havforsuring

En CO<sub>2</sub> deponering i dypere vannmasser vil gi en økt forsuringssrate der (Cao & Caldeira 2010). Forsuringen i dypere vann vil ha samme effekten som på grunt vann, med store problemer for organismer som bygger strukturer av kalsiumkarbonat slik som koraller, skjell og snegler. En mulig konsekvens kan dermed være en endret dybdeutbredelse for denne typen organismer.

## 4) Endringer i produktivitet i områder utenfor der man har gjødslet

Gjødsling av havet innebærer å tilføre et næringsemne som i utgangspunktet er begrensende. Dette vil da medføre at andre næringsemner kan brukt opp, på grunn av den økte veksten. Områder «nedstrøms» fra det gjødslede området, kan dermed oppleve redusert produktivitet (såkalt «nutrient robbing», Royal Society 2009). På den annen side kan man også tenke seg positive effekter i områder utenfor der man har gjødslet. Nedbrytning av biomassen skapt av gjødslingen vil gi høyere konsentrasjon av næringssalter i dypvannet, og dette vannet vil stimulere produksjon i områder hvor det bringes til overflaten gjennom «upwelling» eller annen vertikal miksing.

## 5) Effekten på bentiske økosystemer

Biomassen som produseres synker, og hvor mye som til slutt ender opp på bunnen avhenger av synkehastighet og dyp. I svært dype områder kan faktisk det meste være

nedbrutt før det når havbunnen. Hva som videre skjer på bunnen vil avhenge av hvordan tilstanden er i utgangspunktet. Med mindre bunnvannet er oksygenfritt vil den økte fluksen av karbon gi økt biomasse. I det sørlige indiske hav finnes områder som naturlig er gjødslet med jern. Her ble det vist at den bentiske biomassen i det gjødslede områdene var inntil 3 ganger høyere enn utenfor (Wolff et al., 2011). Forholdet mellom bentisk biodiversitet og fluks av organisk karbon beskrives ofte som en klokkeform (e.g. fig 3 i Wallace et al., 2010) hvor den høyeste diversiteten finnes et sted mellom oligotrofe og eutrofe lag eller soner. Økt mengde organisk karbon til bunnen vil dermed kunne øke diversiteten i et i utgangspunktet oligotroft område.

#### 6) Konsekvenser av tilsiktet effekt

I tillegg til den tilsiktede økningen i algebiomass, vil det også kunne følge med en endring i den relative forekomsten av arter, på flere trofiske nivå. Av grunner beskrevet over er det ønskelig med en dominans av store og hurtig synkende kiselalger (henviser til avsnitt), og i mange tilfeller er det dokumentert at det blir en dominans av kiselalger (e.g. Boyd et al., 2007; Assmy et al., 2009; Smetacek et al., 2012). Endringen av størrelsessammensetning så vel som artssammensetning i planteplanktonet vil gi endret struktur i det pelagiske næringsnett og endringer i strømmen av karbon både det mikrobielle næringsnett og nettet på høyere trofisk nivå (Christaki et al., 2014).

Basert på gjennomgangen ovenfor, kan vi framsette noen aspekter som vil være relevante å vurdere nærmere knyttet til eventuell forskningsaktivitet på mikroalger for CCS:

- Påvirkning på det marine økosystemet av økt algevekst
- Endringer som ikke er reversible?
- Hva er det begrensede næringsstoffet/sporstoffet? Hvilken påvirkning har dette? Hvordan er tilgjengeligheten av dette?
- Hvor stor forskjell er det i ulike algers karakteristikker med hensyn til sensitivitet og miljøpåvirkning?
- Hvilke størrelsesorden har «alger for CCS» i form av effekt? (se innledning). Algenes absorberingskapasitet av CO<sub>2</sub>, hvor stor er denne og hvor mye tas ut av systemet?
- Hvilke modeller kan si noe av det vi trenger- brukt på lignende problemstillinger? Fins det noen store/relevante modellverktøy som kan hjelpe på beslutningsgrunnlaget?
  - Noen tar til orde for at forbedrede havmodeller (ocean circulation models) vil være svært nyttig (Williamson et al. 2012). Det samme gjelder biogeo-kjemiske modeller. Disse vil kunne gi bedre prediksjoner og grunnlag for å bygge gode overvåkningsprogrammer. Helt nye studier har vist at det er et potensiale for å videreutvikle bruken av satellitt data som gir mulighet til å «følge» en gjødslingsindusert blomstring i tid og rom (e.g. Westberry et al., 2013)
- Hvilke studier /eksperimenter fins allerede? Poll. Figuren nedenfor viser en oversikt over havgjødslingsprosjektene som er gjennomført (Williamson et al., 2012):



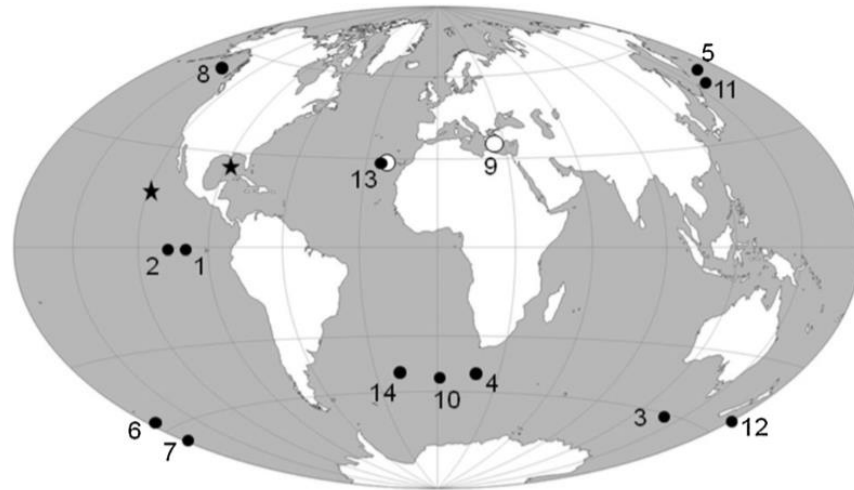


Fig. 1 – Sites of ocean fertilization studies involving patch-scale experimental nutrient additions, 1993–2009. ● Fe-addition experiments; ○ P-addition experiments; ★ commercial trials (two, both using Fe). 1. IronEx I (1993); 2. IronEx II (1995); 3. SOIREE (Southern Ocean Iron Enrichment Experiment, 1999); 4. EisenEx (2000); 5. SEEDS I (Subarctic Pacific Iron Experiment for Ecosystem Dynamics Studies, 2001); 6 and 7. SOFeX North and SOFeX South (Southern Ocean Iron Experiment, 2002); 8. SERIES (Subarctic Ecosystem Response to Iron Enrichment Study, 2002); 9. CYCLOPS (Cycling of Phosphorus in Eastern Mediterranean, 2002); 10. EIFEX, European Iron Fertilization Study, 2004); 11. SEEDS II (2004); 12. SAGE (SOLAS Air–Sea Gas Exchange experiment, 2004); 13. FEFP (2004) and 14. LOHAFEX (2009). An additional, unauthorized and commercially-based ocean fertilization study was carried out in July 2012 near to site 8 by the Haida Salmon Restoration Corporation, [www.hsra1.com](http://www.hsra1.com).

- Hvordan skulle eventuelt et eksperiment se ut? Et eksperiment må muligens se ut sånn som de man allerede har gjennomført, men med lenger tidshorisont. Overvåkningsopplegget ville imidlertid blitt veldig stort, da eksperimentet bokstavelig talt vil flyte utover i tid og rom.



## 4 ELSA-perspektivet

Stadig flere forskningsprogrammer har nå krav om at ELSA skal inkluderes i nye forskningsprosjekter<sup>5</sup>. Dette kravet har sin bakgrunn i en øket bevissthet rundt det komplekse samspillet mellom teknologi og samfunn.

Den tradisjonelle måten å se samspillet mellom teknologi og samfunn var en lineær sammenheng. Teknologien ble utviklet for å møte samfunnets behov, og samfunnets rolle ble sett på som et marked for teknologiske løsninger som blindt og uten motstand ville velge de løsningene som ble tilbudt: “Science Finds - Industry Applies - Man Conforms<sup>6</sup>,” En slik forståelse har kommet under press i den nye moderniteten. Vi ser i større grad at det er en gjensidig påvirkning mellom samfunnet og teknologien. Teknologien og vitenskapen har ikke lenger det hegemoniet som de hadde opp til midten av 1900-tallet. De er ikke lenger bare betraktet som leverandør av løsninger på problemer, men også til dels en kilde til problemer – for eksempel utslipp til miljøet.

Dette har vært med på å endre rollen til teknologien (og vitenskapen), slik at de enda tydeligere enn før er avhengig av samfunnets aksept for å kunne utføre sin aktivitet. Men også at samfunnet spiller en rolle i faktisk å være med å forme selve aktiviteten. En slik beskrivelse kan kanskje bære preg av å være mer idealtypisk enn fullt ut beskrivende av virkeligheten. Fortsatt er samspillet mellom teknologiutvikling og samfunn komplisert, uoversiktlig og komplekst og fullt av interessemotsetninger. Mange vil kanskje ha den oppfatning at teknologien (og vitenskapen) må ha full frihet, med få begrensninger. Slike begrensninger er typisk bevilgninger og å unngå unødig skade på forsøkspersoner eller forsøksdyr.

I lys av teknologiens endrede roller er det nødvendig med en større grad av refleksivitet til de etiske, juridiske og samfunnsmessige aspekter ved forskningen både ved forskningsinstitusjonene og hos den enkelte forsker (se avsnitt 4.2). Hva er de samfunnsmessige konsekvensene av det vi er i ferd med å utvikle? Hvorfor valgte vi som vi gjorde under forskningsprosessen? Ville valgene våre blitt annerledes om vi la andre premisser (økonomi, teknologi, tidspress, miljø, robusthet) til grunn? Vil samfunnet akseptere våre forslag til (tekniske) løsninger?

Fremfor å bli fortalt hva som er de etiske spørsmål i et gitt prosjekt, er det ofte mer hensiktsmessig at forskerne selv er med å reflektere rundt slike spørsmål. Ved å spore an til en refleksivitet rundt forskningsdesign, valg av metoder, innsatsfaktorer og alternative løsninger, er håpet at forskerne selv gjør endringer som bidrar til mer bærekraftige resultater, og til en samfunnsmessig robust teknologiutvikling.

---

<sup>5</sup> Eventuelt at det skal argumenteres eksplisitt hvorfor det *ikke* vil være hensiktsmessig med ELSA.

<sup>6</sup> 1933 Chicago World's Fair Motto (Johnson, 2009)

En ytterligere motivasjon for å reflektere rundt slike spørsmål, er at det på mange måter også vil nyttig i utviklingen av en potensiell forretningsplan. I tillegg vil deltagerne i forskningsprosjektet være mer forberedt på eventuelle kritiske spørsmål utenfra, for eksempel fra politikere eller journalister. Det er jo ikke nødvendigvis et mål i seg selv og kunne svare godt på kritiske spørsmål, men det er mer å betrakte som en «added benefit».

I løpet av de siste årene har det vært en dreining i oppmerksomheten og ordbruken omkring de samfunnsmessige aspektene rundt teknologiutvikling: Det har på mange måter vært en utvikling fra ELSA og over mot ansvarlig teknologiutvikling, eller RRI – *Responsible Research and Innovation*.<sup>7</sup> En slik dreining er ikke uproblematisk, og vil føre til at andre ting og spekter blir ansett som viktigere (Rip, 2014). Det viktigste siktemålet med slike grep, er at refleksjon rundt slike spørsmål vil kunne bidra til at forskningsdesign og beslutninger blir mer ansvarlige. I det ligger det også en spire til en videre diskusjon om hva ansvarlighet betyr; ansvar overfor hva, og hvem er det som har ansvar? I et utviklingsprosjekt vil et typisk dilemma være hvor langt man er ansvarlig. Et eksempel er utsagnet «-If I had only known, I would have been a watchmaker» som blir tillagt Albert Einstein da han fikk høre om bombingene av Hiroshima (Wells, 1960).

Som nevnt over har det samtidig vært en viss utvikling i forståelsen av hva som er de mest relevante aspektene å vurdere (ELSA «eller» RRI). Basert på intervjuer med relevante nøkkelinformanter og stakeholderworkshop vil disse spørsmålene bli diskutert nærmere i kapittel 4.

#### 4.1 ELSA-aspekter

Ordene som «skjuler» seg bak akronymet ELSA, er overordnede og til dels abstrakte begreper, og det er ikke helt opplagt hva man skal legge i hver av dem: etiske aspekter, juridiske/regulatoriske og samfunnsmessige. I det følgende vil vi kort presentere noen relevante ELSA-aspekter knyttet til bruk av mikroalger for CCS som vil bli grundigere adressert i kapittel 5.

##### 4.1.1 Etiske aspekter

Både selve bruken av mikroalger som CCS og tilhørende forskning reiser flere etiske spørsmål. Havgjødsling er lansert som et tiltak som raskt kan ha effekt og ta ut store mengder CO<sub>2</sub> i en akutt situasjon. En slik situasjon kan oppstå dersom CO<sub>2</sub>-nivåene og den globale oppvarmingen fortsetter å tilta uhemmet, og med ødeleggende klimaendringer som følger. Samtidig er havgjødsling, som nevnt innledningsvis, et kontroversielt tiltak i likhet med andre typer klimamanipulerende tiltak. Dette fordi disse tiltakene vil ha ukjente og til dels alvorlige bieffekter med muligheter for å forårsake katastrofale og irreversible økologiske skader (Ginzky & Frost, 2014).<sup>8</sup> Som vi vil komme tilbake til er det en spesiell bekymring for potensielt negative konsekvenser for havmiljøet. Havgjødsling kan representere en ukjent økologisk risiko, og fra et etisk ståsted kan det argumenteres for at det derfor ikke under noen omstendigheter tillates som et CCS-tiltak.

---

<sup>7</sup> European Commission (2015): Indicators for promoting and monitoring Responsible Research and Innovation [http://ec.europa.eu/research/swafs/pdf/pub\\_rri/rri\\_indicators\\_final\\_version.pdf](http://ec.europa.eu/research/swafs/pdf/pub_rri/rri_indicators_final_version.pdf)

European Commission (2012): Responsible Research and Innovation: Europe's ability to respond to societal challenges, DG Research and Innovation. [https://ec.europa.eu/research/swafs/pdf/pub\\_public\\_engagement/responsible-research-and-innovation-leaflet\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/swafs/pdf/pub_public_engagement/responsible-research-and-innovation-leaflet_en.pdf)

<sup>8</sup> <https://www.etikkom.no/Aktuelt/Nyheter/2015/bekymret-men-positive-til-forskning-pa-klimamanipulering/>

#### 4.1.2 Juridiske aspekter

Havgjødsling er internasjonalt regulert gjennom den såkalte Londonprotokollen<sup>9</sup> som trådte i kraft i 2006 og som stadfester et generelt forbud mot dumping av avfall til sjøs. Den forbyr som hovedregel all virksomhet med formål om å gjødsle havet også i CCS-sammenheng. Mulige unntak er aktiviteter for forskningsformål, men kun under svært strenge betingelser. Gjødsling og/eller såing av alger i kystnære farvann vil være regulert av nasjonal miljølovgivning som for eksempel forurensningsloven. Vi ser i rapporten nærmere på hvordan disse internasjonale og nasjonale miljøreguleringene vil påvirke en eventuell videreføring av forskningen på mikroalger utenfor laboratoriet. Det vil si i kystnære strøk eller internasjonalt farvann.

#### 4.1.3 Sosiale aspekter

Havgjødsling som et CCS-tiltak er som nevnt politisk kontroversielt. Dette fordi det er stor usikkerhet rundt effektene på klima og ikke minst de økologiske konsekvensene av å gjennomføre et slikt tiltak i stor skala. Et mot argument geoengineering er at man heller bør satse på forbyggende tiltak som direkte kan redusere dagens utslipp fra industri, transport og energiproduksjon framfor å stole på potensielle teknologiske løsninger en gang i framtida. Like viktig er de økonomiske aspektene knyttet til de uforutsette konsekvenser av havgjødsling eller såing med mikroalger. Spesielt aktører innen havbruks- og fiskerisektoren er bekymret for hva forsøk med gjødsling og såing av mikroalger kan bety for oppdrett og fangst.

### 4.2 Risikosamfunnet og refleksivitet

I 1986 publiserte den tyske sosiologen Ulrich Beck boken *Risikogesellschaft: Auf dem Weg in eine andere Moderne*.<sup>10</sup> Her lanserer Beck en slags diagnose over samtiden, kanskje spesielt i Vesten. De vestlige samfunnene beveger seg fra en første til en andre modernitet. I den sene moderniteten er det farer og risiko overalt. I den første moderniteten var man opptatt av å fordele godene («the goods»), i den andre moderniteten er fokuset flyttet til fordelingene av problemene («the bads»).

Mennesker og samfunn har til alle tider vært truet av farer, men tidligere ble disse farene ansett å være noe som ble påført samfunnet *utenfra*: sult, flom og sykdommer. I den andre moderniteten er det menneskene (samfunnet) som *selv* produserer farene: radioaktivt avfall, forurensing og rester av plantevernmidler i matvarer og grunnvann. Samfunnet produserer risikoene selv, og de blir fordelt utover i samfunnet. Selv om denne fordelingen er ujevn (noe blir mer utsatt for risikoene enn andre, for eksempel de fattige), er det ikke mulig å unngå slike risikoer helt.

De «moderne» risikoene er på en større skala, og med større utbredelse både geografisk og over generasjonene (tenk radioaktivt avfall), i motsetning til risikoene i før-industriell tid hvor risikoene var mer begrenset i både geografisk og tidsmessig forstand. I tillegg er de «moderne» risikoene ofte usynlige (for eksempel persistente kjemikalier) Dette gjør også at de sosiale institusjonene som er satt til å håndtere risikoene, får stadig en mindre kapasitet eller mulighet til å mestre dette.

<sup>9</sup> Londonprotokollen fra 1996, og som trådte i kraft i mars 2006 er en forlengelse og fornyelse av Londonkonvensjonen "Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter 1972" <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/LCLP/Pages/default.aspx>

<sup>10</sup> Oversatt til engelsk i 1992 under tittelen *Risk Society: Towards a New Modernity*, London: Sage.

Så langt vi kanskje si at dette er viktige observasjoner i seg selv, men Beck går videre, og sier at ikke bare endrer innholdet og antallet av risikoer seg, men samtidig er begrepet risiko blitt en del av maktkampen i det (sen)moderne samfunnet: Hva som blir definert som en risiko, og på hvilke måter de blir fremstilt som akseptable/ikke-akseptable, begrensede/katastrofale eller sannsynlige/ikke-sannsynlige, er sosialt konstruert.

For at samfunnet skal fortsette å utvikle seg til tross for dette, altså utvikle seg i en mer «ønsket» retning, hevder han at den videre moderniseringen må bli refleksiv. Denne refleksiviteten formulerer Beck mer på et samfunnsnivå. Men i møte med erkjennelsen av at vi selv produserer risikoer for oss selv og andre, vil og må det lede til en mer refleksiv innstilling på alle nivåer. Teknologien kan ikke lenger ansees som løsningen på alle mulige utfordringer vi står overfor, nye teknologiske løsninger løser noen problemer, men skaper ofte også andre problemer. Derfor blir det viktig at refleksivitet også blir en integrert del av innovasjons- og utviklingsprosesser.

## 5 Analyse

### 5.1 Etiske aspekter

Den Nasjonale forskningsetiske komité for naturvitenskap og teknologi (NENT) er både opptatt av de generelle problemstillingene rundt denne formen for klimamanipulering og de etiske spørsmålene som forskning på dette området medfører. De generelle etiske spørsmålene berører hva vi vet om risikoen og nytten av disse tiltakene, og hvilke konsekvenser vi kan forutse og kontrollere på forhånd? Dersom risikoen og usikkerheten knyttet til prosjektene vurderes som større enn nytten vil det være lite tilrådelig å iverksette denne type klimamanipulerende tiltak. Disse vurderingene vil dermed også få betydningen for forskningen på denne type tiltak. Det vil si om forskere bør gå inn i slike prosjekter, eventuelt under hvilke betingelser. For forskere vil det være naturlig å stille seg spørsmål ved hvilken samfunnsmessig nytte og hvilke typer risikoer som er forbundet med forskningen. I denne sammenheng er det som nevnt at ELSA-analysen har sin nytte.

Når det gjelder bruk av mikroalger for CCS er det nettopp avveielser mellom nytte og risiko som er avgjørende for om dette er et aktuelt klimatiltak (og følgelig også om det bør forskes videre på dette). Det er knyttet stor usikkerhet til de økologiske konsekvensene av storskala gjødsling og/eller såing av mikroalger til havs. Det gjelder både konsekvenser for biodiversitet, vannkvalitet og også potensiell produksjon av andre klimagasser. Utslipp til havs er forbundet med stor risiko fordi det ofte er vanskelig å kontrollere effektene av utslippene og konsekvensene for sårbare økosystemer, følgelig er denne type aktivitet regulert etter «føre-var-prinsippet» gjennom den såkalte London-protokollen (se avsnitt 5.2).

For forskere er det en rekke overveielser som tas i løpet av et forskningsprosjekt. Mange av disse er knyttet til hvordan- og/eller evt. om forskningen skal videreføres. I første rekke dreier dette seg om rent faglige spørsmål. Men det vil naturlig nok også dreie seg om de økonomiske og praktiske mulighetene til å forske videre, og i økende grad skal også etiske spørsmål trekkes inn i denne type beslutninger. I mange tilfeller vil spørsmål om ulike etiske eller samfunnsmessige konsekvenser få avgjørende betydning for om forskningen skal videreføres eller ikke.

I  $\mu$ -algeprosjektet vil denne vurderingen, i tråd med NENTs anbefalinger, måtte baseres på om den potensielle nytten av forskningen på sikt vil være større enn risikoen og usikkerheten som er knyttet til dette som et klimatiltak. Dersom videre forskning skal kunne forsvares må det kunne vises til en betydelig klimaeffekt av tiltaket samtidig som risikoen forbundet med å gjennomføre storskala havgjødsling anses som liten.

Som diskutert i kapittel 3 tyder det på at havgjødsling vil ha begrenset effekt som klimatilskudd samtidig som den økologiske risikoen av tiltaket anses som betydelig. I intervjuer med representanter fra miljømyndighetene, Bellona og næringsinteresser (FHL), samt på workshopen med relevante stakeholdere, ble alternativer til en storskala havgjødsling diskutert. Gjødsling i fjorder eller oppdrett i bassenger på land er mulige alternativer, men med begrenset potensial. Selv om naturforholdene for eksempel i en norsk fjord er mer kontrollerbare enn til havs, anses den totale klimaeffekten som liten (Andersen et al., 2014).

Det er reist spørsmål om det kan være fruktbart å skille mellom selve forskningen og anvendelsen av denne forskningen. Noen vil mene at selv om risikoen ved å gjennomføre tiltaket er usikkert kan det likevel være nyttig kunnskap å hente ved å forske på klimamanipulering. Under NENTs møte om klimamanipulering og etikk på Litteraturhuset i Oslo 11. juni 2015 hevdet Jon Børre Ørbæk som er spesialrådgiver ved Avdeling for klima og polar i Norge forskningsråd, at noen av de klimamanipulerende tiltakene kan være uetiske å ta i bruk, men at det ikke nødvendigvis er noe galt med forskningen i seg selv, fordi den gir oss viktig kunnskap om effekter.<sup>11</sup> Vi vil likevel hevde at for  $\mu$ -algeprosjektet hvor vi eksplisitt skal gjøre en vurdering av å prioritere videre forskning på bruk av mikroalger for CCS framfor å fokusere forskningsinnsatsen på algenes evne til å produsere nyttige kjemiske forbindelser, må både vurderinger knyttet til potensialet (klimaeffekten) og etikken (økologisk risiko) ha avgjørende betydning for konklusjonen.

## 5.2 Juridiske aspekter

Bruk av mikroalger for CCS i form av havgjødsling og/eller såing av alger er sterkt regulert forskningsfelt. De juridiske retningslinjene retter seg særlig om påvirkninger på det marine økosystemet og de konsekvenser dette måtte påføre. Dersom det gjelder eksperimentert i åpent hav vil dette anses som marin dumping og Londonprotokollen gjelder.

Regulatorisk sorterer havgjødsling på åpent hav utenfor norsk økonomisk sone (eller kontinentalsokkel) under Londonprotokollen<sup>12</sup>. Den trådte i kraft 24. mars 2006 og har per i dag 45 parter, inkludert Norge. Londonprotokollen åpner for havgjødsling for forskningsformål i mindre skala, men her gjelder strenge kriterier.

Om man skulle tenke seg å gjøre havgjødsling, både med og uten algesåing, i norske fjorder, vil det i utgangspunktet reguleres av forurensningsloven,<sup>13</sup> som også krever at prinsippene i naturmangfoldloven<sup>14</sup> anvendes. Det er her plikt å vise hvordan prinsippene om for eks. føre-var (paragraf 9), kumulative effekter og økosystemtilnærming (paragraf 10) har blitt vurdert. Om algen man velger å så («tilsette») ikke er naturlig forekommende i valgt lokalitet, er den å regne som en fremmed art, noe som også vil kunne reise krav om ytterligere lovanvendelse (eksempelvis naturmangfoldloven). Man kan også legge til grunn at nasjonal lovgivning ivaretar internasjonale lovkrav, og at internasjonale reguleringer påvirker nasjonale miljøreguleringer.

<sup>11</sup> <https://www.etikkom.no/Aktuelt/Nyheter/2015/bekymret-men-positive-til-forskning-pa-klimamanipulering/>

<sup>12</sup> <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/LCLP/Pages/default.aspx>

<sup>13</sup> <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1981-03-13-6>

<sup>14</sup> <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2009-06-19-100>



Når det gjelder Londonprotokollen har den et lignende formål som den foregående konvensjonen, men protokollen er mer restriktiv. Førre-var prinsippet er inkludert som et pålegg, videre er en «reverse list» - tilnærming brukt, som vil si at all dumping er forbudt med mindre det er gitt eksplisitt tillatelse. Protokollen er ikke ratifisert ennå, men den er politisk vedtatt slik at det skal mye til for at dette fravikes i Norge. Den setter strenge begrensinger for havgjødsling (og annet som faller under marin dumping), men det finnes en åpning for forskningsaktiviteter.

For å sikre at havgjødslingsaktiviteter ikke finne sted før det er tilstrekkelig vitenskapelig grunnlag for å rettferdiggjøre slike aktiviteter, skriver Ginzky & Frost (2014) at førre-var-prinsippet bør kobles inn. I tråd med dette prinsippet skal tilhørende risiko inkluderes og en global, transparent og effektiv kontroll og reguleringsmekanisme være på plass, med unntak av småskala vitenskapelige studier innenfor kystnære farvann (Ginzky & Frost, s. 2).

Havgjødsling er den eneste marine geoengineering aktiviteten som per i dag er regulert under Londonprotokollen (se vedlegg 4 til protokollen, og Ginzky & Frost, 2014, s. 2). Geo-engineering er en omstridt aktivitet og de fleste teknologiene er fortsatt i sin barndom eller eksisterer bare i teorien. De fleste metodene har ikke vært testet i felten ennå. Det vil si at verken deres gjennomførbarhet og/eller effektivitet, ei heller risiko har fullt ut kunnet bli vurdert (Ginzky & Frost 2014, s. 6). Med bakgrunn i dette vises de til at det virker urimelig å etablere et generelt forbud mot all marin geoengineering, inkludert forskningsaktiviteter. De sier også at “...the most likely next step will be field investigations – need to distinguish research from deployment” [...] “This aspect of the amendment to the protocol is innovative and groundbreaking” (Ginzky & Frost, 2014, s. 9).

Londonprotokollen skiller altså mellom havgjødsling som er del av forskningsprosjekter og andre prosjekter/aktiviteter. Protokollen gir kun åpning for at tillatelser for legitim vitenskapelig forskning utstedes av ansvarlig part. Det er definert kriterier for hva som menes med legitim vitenskapelig forskning (Ginzky & Frost, 2014, s. 9):

1. *Addition to scientific knowledge, based on best available scientific knowledge and technology*
2. *Appropriate scientific methodology*
3. *Subject to peer-review*
4. *No economic interests involved*
5. *Commitment to publish scientific results*
6. *Available Financial resources*

Dette er kriterier som må legges til grunn og imøtekommes dersom man ønsker å søke om å gjøre forskningseksperimenter i sjøvann som omfattes av Londonprotokollen. Dersom et forsøk skulle foregå i en fjord vil Londonprotokollen altså ikke gjelde, men den norske Forurensningsloven. Men vi kan legge til grunn at Forurensningsloven også er i tråd med gjeldende internasjonale lover. Det er Miljødirektoratet som gir tillatelser.

### 5.3 Samfunnsmessige aspekter

De viktigste samfunnsmessige aspektene knyttet til bruk av mikroalger for CCS er klimapolitiske, dvs. hvor viktig er et slikt tiltak i klimasammenheng. Dernest er det spør-

målet om hvilke samfunnsmessige interesser som vil bli berørt dersom gjødsling og/eller såing med mikroalger til havs eller i en fjord skulle gjennomføres. Vår intervjurunde blant sentrale aktører representert ved myndighetene (Klima og miljødepartementet, Miljødirektoratet), Bellona, Fiskeri- og havbruksnæringens Landsforening (FHL) samt Norsk Algeforening (v/Selskapet for Norges Vel) avdekket at det i Norge har vært liten oppmerksomhet omkring bruk av mikroalger for CCS.

Internasjonalt har det i regi av European Biofuels Techonolgy Platform (EBTP) vært jobbet med potensialet for såkalt bio-CCS, dvs. bruk av ulike biologiske ressurser (skog, landbruks- og matavfall m.m., marine ressurser) til å binde og til slutt lagre CO<sub>2</sub>. En rapport viser imidlertid at selv om potensialet for bruk av alger til dette formålet teoretisk sett er stort, ligger anvendelsen trolig et godt stykke inn i framtida (EBTP-ZEP, 2012). En mulighet som drøftes er å kombinere fangst av CO<sub>2</sub> ved rensing, i en såkalt BECC – Bioenergy production with carbon capture. Her tenker en seg energi-produksjon basert på forbrenning av biomasse med tilhørende CO<sub>2</sub> rensning, og lagring av CO<sub>2</sub> i geologiske formasjoner på landjorda, eller under havbunnen.

Norske myndigheter har i større grad vært opptatt av CO<sub>2</sub>-rensing som en måte å fange karbon spesielt fra store punktutslipp, som for eksempel Mongstad.<sup>15</sup> Norske myndigheter har imidlertid ikke jobbet spesifikt med bruk av alger generelt eller mikroalger spesielt i CCS-sammenheng.

Generelt fra myndighetenes side er det skepsis til havgjødsling som vil komme i konflikt med Londonprotokollen, og spesielt dersom det er kommersielle- og ikke allmenne samfunnsinteresser som tilgodeses. I hvilken grad CCS er et effektivt klimatil-tak eller ikke er også et avgjørende spørsmål for om man skal prioritere forskning og utvikling på dette området. Som nevnt tidligere peker FNs klimapanel på at det vil være nødvendig med karbonnegative tiltak (som ikke bare binder, men fjerner karbon) for å nå to-graders målet, men det er ulike syn på hvordan dette mest effektivt kan gjøres. Argumentet mot klimamanipulerende tiltak (geoengineering) er at det kan dempe iveren etter å kutte utslipp dvs. kan motvirke forebygging fremfor reparasjon.

Havgjødsling til andre formål enn CCS har for eksempel funnet sted i større skala utenfor kysten av British Columbia i Canada. Målet med eksperimentet var å styrke den lokale laksestammen. Dette skulle oppnås ved å gjødsle med 100 tonn jernsulfat som skulle bidra til en oppblomstring av alger (fytoplankton) (Ginzky & Frost, 2014). Denne type tiltak vil i dag ikke kunne gjennomføres innenfor rammene av Londonprotokollen som Norge har sluttet seg til.

I Norge er det ikke gjennomført forskning med havgjødsling. Det finnes imidlertid eksempler på lignende prosjekter, men i mindre skala gjennomført i kystnære vann. I Lysefjorden i Rogaland driver Havforskningsinstituttet et prosjekt med oppstrømming av næringssalter for produksjon av biomasse. Målet har vært økt produksjon av biomasse til laksefôr (Andersen m.fl. 2014). I regi av Institutt for bioteknologi ved NTNU i Trondheim har det også pågått et kontrollert forsøk med dyrking av mikroalger i Hopavågen i Sør-Trøndelag.<sup>16</sup> Disse prosjektene har blant annet sett på mulighetene for å stimulere produksjonen av mikroalger, men ikke med formål om å binde og lagre

<sup>15</sup> Se for eksempel: <http://co2bio.no/> eller [http://www.sysla.no/2014/06/05/havbruk/skal-dyrke-alger-pa-mongstad-neste-ar\\_16465/](http://www.sysla.no/2014/06/05/havbruk/skal-dyrke-alger-pa-mongstad-neste-ar_16465/)

<sup>16</sup> <http://www.ntnu.edu/biotechnology/envbiotek/research-interests>

karbon. I Lysefjorden har Havforskningsinstituttet samarbeidet godt med lokale aktører, og en viktig målsetting med denne type forskningsvirksomhet er nettopp økt lokal matproduksjon med de positive ringvirkninger for lokalsamfunnet dette kan føre med seg.

For fiskeri- og havbruksnæringen representerer imidlertid tiltak med havgjødsling og/eller såing med mikroalger en potensiell risiko. En ukontrollert oppblomstring av mikroalger og påvirkning av de naturlige økosystemene til havs og i norske fjorder kan få betydelige konsekvenser for de lokale fiskeressursene og oppdrettsvirksomheten. Dyrking av mikroalger i kontrollerte omgivelser, helst landbasert, er følgelig sett fra dette perspektivet mer ønskelig. Dyrking av mikroalger på land vil ikke kunne gjennomføres i samme skala som til havs, og følgelig har dette liten interesse som et potensielt CCS-tiltak.

Vi har ikke kartlagt andre samfunnsmessige konsekvenser av havgjødsling eller såing med mikroalger for CCS. I hvilken grad det også kan påvirke turismen eller andre næringer utover havbruk og fiskeri som på ulike måter er avhengig av marine ressurser (rent vann, biomasse osv.), går vi ikke nærmere inn på i denne rapporten.



## 6 Konklusjoner

Havgjødsling inkludert «såing» av alger, er å regne som Geoengineering (GE). Det vil si å gripe inn i verdens store fysiske, kjemiske eller biologiske systemer for å motvirke klimaendringer som følge av menneskelige klimagassutslipp. GE er omstridt.

Etisk og miljømessig: GE kan/vil dempe iveren etter å kutte utslipp dvs kan motvirke forebygging fremfor reparasjon. Mer overordnet: GE er store inngrep i kompliserte systemer hvor det kan være svært vanskelig å forutsi både ønskede og uønskede effekter. For havgjødslingens del vil det kunne handle om biogeokjemiske endringer som redusert oksygen og økt forsuring i intermediære vannmasser, samt potensielt alvorlige endringer i næringsnettet som følge av økt biomasse og endret art- og størrelsessammensetning på laveste trofiske nivå. Effekten av inngrepet vil vanskelig kunne begrenses geografisk og man er bekymret for såkalte «nedstrømseffekter» hvor havstrømmer eksempelvis vil kunne føre næringsfattig vann med lavt oksygeninnhold over i havområder hvor slike effekter får spesielt negative konsekvenser. Det stilles også spørsmål ved, og er usikkerheter knyttet til, potensialet og effektiviteten av havgjødsling som CCS-tiltak. Flere av intervjuobjektene og workshopdeltagerne stilte spørsmålsteget ved hvor mye CO<sub>2</sub> som faktisk vil kunne bindes på denne måten, og hvor mye av algene vil ende i sedimenter på havbunnen, uten å gå tilbake i næringskjeden? Usikkerheten blir ikke mindre om det også skal såes en ny alge, som tilfører nok en faktor vi ikke har kontroll over.

Regulatorisk sorterer havgjødsling på åpent hav utenfor norsk økonomisk sone (eller kontinentalsokkel) under Londonprotokollen. Den trådte i kraft 24. mars 2006 og har per i dag 45 parter, inkludert Norge. Londonprotokollen åpner for havgjødsling for forskningsformål i mindre skala, men her gjelder strenge kriterier. Om man skulle tenke seg å gjøre havgjødsling, både med og uten algesåing, i norske fjorder, vil det i utgangspunktet reguleres av forurensningsloven, som også krever at prinsippene i naturmangfoldloven anvendes (plikt å vise hvordan prinsippene om for eks. føre-var (paragraf 9), kumulative effekter og økosystemtilnærming (paragraf 10) har blitt vurdert). Om algen man velger å så ut ikke er naturlig forekommende i valgt lokalitet, er den å regne som en fremmed art, noe som vil kunne reise krav om annen lovanvendelse (eksempelvis naturmangfoldloven).

Samfunnsmessig vil eventuell havgjødsling med algesåing i kystnære områder inkludert fjorder komme i arealkonflikt med andre næringer, kanskje først og fremst akvakultur.

Selv om enkelte av de vi intervjuet og noen av deltakerne på vår workshop var mer positivt innstilt til havgjødsling med algesåing, er det allikevel vårt bestemte inntrykk

at dette vil være et kontroversielt tiltak. Og selv forskning på tiltaket vil nok av enkelte også oppfattes som kontroversielt.

Basert på våre vurderinger av det som kom frem i intervjuer og i workshopen, og på overstående argumentasjon, vil SIFO og NIVA som har hatt hovedansvar å se på disse spørsmålene innenfor rammene av dette prosjektet, foreslå at ressursene innenfor µalge-prosjektet ikke anvendes til videre forskning på mikroalger for CCS. Ressursene og forskningsinnsatsen bør overføres til forskningsaktivitetene knyttet til å identifisere og eventuelt avle frem egnede algetyper med høyt lipidinnhold for produksjon av alfa-olefiner.

## 7 Referanser

- Andersen, S., Strohmeier, T., Strand, H.K., Strand, Ø. (2014). *Karbonfangst og matproduksjon i fjorder*. Rapport 7/2014. Bergen: Havforskningsinstituttet.
- Assmy, P., Cisewski, B., Henjes, J., Klaas, C., Montresor, M., Smetacek, V. (2014). Response of the protozooplankton assemblage during the European Iron Fertilization Experiment (EIFEX) in the Antarctic circumpolar current. *J Plankton Res* **36(5)**:1175-1189.
- Assmy P., Smetacek, V., Montresor, M., Klaas, C., Henjes, J., Strassb, V. H., Arrietae, J.M., Bathmannb, U., Bergh, G.M., Breitbarthi, E., Cisewskib, B., Friedrichs, L., Fuchs, N., Herndle, G.J., Jansenb, S., Krägefsky, S., Latasal, M., Peekenb, I., Röttgerso, R., Scharekl, R., Schüllerp, S.E., Steigenberger, S.E., Webb, A., Wolf-Gladrow, D.. (2013). Thick-shelled, grazer-protected diatoms decouple ocean carbon and silicon cycles in the iron-limited Antarctic Circumpolar Current. *Proc Natl Acad Sci USA* **110(51)**:20633-20638.
- Aumont, O., Bopp, L. (2006). Globalizing results from ocean in situ iron fertilization studies. *Glob Biogeochem Cyc* **20(2)**: GB2017.
- Aure, J., Strand, Ø., Erga, S.R., Strohmeier, T. (2007). Primary production enhancement by artificial upwelling in a western Norwegian fjord. *Mar Ecol Prog Ser* **352**:39-52.
- Bakker, D.C.E., Bozec, Y., Nightingale, P.D., Goldson, L., Messias, M.J., de Baarb, H.J.W., Liddicoatc, M., Skjelvand, I., Strasse, V., Watsona, A. (2005). Iron and mixing affect biological carbon uptake in SOIREE and EisenEx, two Southern Ocean iron fertilisation experiments. *Deep-Sea Res Part I* **52(6)**:1001-1019.
- Berg, G.M., Mills, M.M., Long, M.C., Bellerby, R., Strass, V., Savoya, N., Röttgers, R., Croot, P.L., Webb, A., Arrigo, K.R. (2011). Variation in particulate C and N isotope composition following iron fertilization in two successive phytoplankton communities in the Southern Ocean. *Glob Biogeochem Cyc* **25(3)**: GB3013.
- Boyd, P.W., Jickells, T., Law, C.S., Blain, S., Boyle, E.A., Buesseler, K.O., Coale, K.H., Cullen, J.J., de Baar, H.J., Follows, M., Harvey, M., Lancelot, C., Levasseur, M., Owens, N.P.J., Pollard, R., Rivkin, R.B., Sarmiento, J., Schoemann, V., Smetacek, V., Takedal, S., Tsudal, A., Turner, S., Watson, A.J. (2007). Mesoscale iron enrichment experiments 1993-2005: synthesis and future directions. *Science* **315(5812)**:612-617.
- Boyd, P.W. (2013). Ocean fertilization for sequestration of carbon dioxide from the atmosphere. I: Lenton, T., Vaughan, N. (Eds). *Geoengineering responses to climate change: selected entries from the Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. New York: Springer. Pp. 53-72.
- Børsheim, K.Y., Vadstein, O., Myklestad, S.M., Reinertsen, H., Kirkvold, S., Olsen, Y. (2005). Photosynthetic algal production, accumulation and release of phytoplankton storage carbohydrates and bacterial production in a gradient in daily nutrient supply. *J Plankton Res* **27(8)**:743-755.
- Cao, L., Caldeira, K. (2010). Can ocean iron fertilization mitigate ocean acidification? *Clim Change* **99(1)**:303-311.
- Chan, F., Barth, J.A., Lubchenco, J., Kirincich, A., Weeks, H., Peterson, W.T., Menge, B.A. (2008). Emergence of anoxia in the California Current large marine ecosystem. *Science* **319(5865)**:920-920.

- Chisholm, S. (2000). Stirring times in the Southern Ocean. *Nature* **407**:685-687.
- Christaki, U., Lefèvre, D., Georges, C., Colombet, J., Catala, P., Courties, Sime-Ngando, C.T., Blain, S., Obernosterer, I. (2014). Microbial food web dynamics during spring phytoplankton blooms in the naturally iron-fertilized Kerguelen area (Southern Ocean). *Biogeosciences* **11(23)**:6739-6753.
- Croot, P.L., Laan, P., Nishioka, J., Strass, V., Cisewski, B.S., Boye, M., Timmermans, K.R., Bellerby, R.G., Goldsone, L., Nightingale, P., de Baara, H.J. (2005). Spatial and temporal distribution of Fe(II) and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> during EisenEx, an open ocean mesoscale iron enrichment. *Mar Chem* **95(1-2)**: 65-88.
- European Biofuels Technology Platform (2012). *Biomass with CO<sub>2</sub> Capture and Storage (Bio-CCS)*.
- Field, C.B., Behrenfeld, M.J., Randerson, J.T., Falkowski, P. (1998). Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components. *Science* **281(5374)**: 237-240.
- Ginzky, H., Frost, R. (2014). Marine Geo-Engineering: Legally Binding Regulation under the London Protocol. *CCLR 2/2014*:1-15.
- Jin, X., Gruber, N. (2003). Offsetting the radiative benefit of ocean iron fertilization by enhancing N<sub>2</sub>O emissions. *Geophys Res Lett* **30(24)**:2249.
- Johnson, L. (2009). Are We Ready for Nanotechnology? How to Define Humanness. I: *Public Policy*. Paper prepared for the APSA 2009 Annual Meeting 3-6 September 2009 Toronto, Canada. URL: [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1451429](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1451429) [Lsedato: 27.08.2015]
- Keller, D.P., Feng, E.Y., Oschlies A. (2014). Potential climate engineering effectiveness and side effects during a high carbon dioxide-emission scenario. *Nat Commun* **5**:3304.
- Law, C.S. (2008). Predicting and monitoring the effects of large-scale ocean iron fertilization on marine trace gas emissions. *Mar Ecol Prog Ser* **364**:283-288.
- Levasseur, M., Scarratt, M.G., Michaud, S., Merzouk, A., Wong, C.S., Arychuk, M., Richardson, W., Rivkin, R.B., Hale M., Wong, E., Marchetti, A., Kiyosawa, H. (2006). DMSP and DMS dynamics during a mesoscale iron fertilization experiment in the Northeast Pacific—Part I: Temporal and vertical distributions. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **53(20)**:2353-2369.
- Nagao, I., Hashimoto, S., Suzuki, K., Toda, S., Narita, Y., Tsuda, A., Saitoe, H., Kudof, Katog, S., Kajiji, Y., Uematsudet, M. (2009). Responses of DMS in the seawater and atmosphere to iron enrichment in the subarctic western North Pacific (SEEDS-II). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **56(26)**:2899-2917.
- Quinn, P.K., Bates, T.S. (2011). The case against climate regulation via oceanic phytoplankton sulphur emissions. *Nature* **480(7375)**:51-56.
- Rip, A. (2014). The past and future of RRI. *Life Scien, Soc Pol* **10(17)**:1-15.
- Royal Society (2009). *Geoengineering the Climate: Science, Governance and Uncertainty. Royal Society Policy Document 10/09*. London: Royal Society.
- Turner, S.M., Harvey, M.J., Law, C.S., Nightingale, P.D., Liss, P.S. (2004). Iron-induced changes in oceanic sulfur biogeochemistry. *Geophys Res Lett* **31(14)**:L14307.
- Wallace, D.W.R., Law, C.S., Boyd, P.W., Collos, Y., Croot, P., Denman, K., Lam, P.J., Riebesell, U., Takeda, S., Williamson, P. (2010) *Ocean Fertilization. A Scientific Summary for Policy Makers*. Paris: IOC/UNESCO.
- Walter, S., Peeken, I., Lochte, K., Webb, A., Bange, H.W. (2005). Nitrous oxide measurements during EIFEX, the European iron fertilization experiment in the subpolar South Atlantic Ocean. *Geophys Res Lett* **32(23)**:L23613.
- Wells, W. (1960) Our Technological Dilemma or An appraisal of Man as a Species Bent on Self-destruction. *Bull Atom Scient* **16(9)**:362-365.
- Williamson, P., Wallace, D.W., Law, C.S., Boyd, P.W., Collos, Y., Croot, P., Denman, K., Riebesell, U., Takedai, S., Vivian, C. (2012). Ocean fertilization for geoengineering: a review of effectiveness, environmental impacts and emerging governance. *Proc Safe Environ Prot* **90(6)**:475-488.



- Wingenter, O.W., Haase, K.B., Strutton, P., Friederic, G., Meinardi, S., Blake, D.R., Rowland, F.S. (2004). Changing concentrations of CO, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, CH<sub>3</sub>Br, CH<sub>3</sub>I, and dimethyl sulfide during the Southern Ocean Iron Enrichment Experiments. *Proc Natl Acad Sci USA* **101(23)**:8537-8541.
- Wolff, G.A., Billett, D.S., Bett, B.J., Holtvoeth, J., FitzGeorge-Balfour, T., Fisher, E.H., Cross, I., Shannon, R., Salter, I., Boorman, I., King, N.J., Jamieson, A., Chaillan, F. (2011). The effects of natural iron fertilisation on deep-sea ecology: the Crozet Plateau, Southern Indian Ocean. *PLoS One* **6(6)**:e20697.
- Woodhouse, M.T., Carslaw, K.S., Mann, G.W., Vallina, S.M., Vogt, M., Halloran, P.R., Boucher O. (2010). Low sensitivity of cloud condensation nuclei to changes in the sea-air flux of dimethyl-sulphide. *Atmosph Chem Phys* **10(16)**:7545-7559.



## 8 Vedlegg

### 8.1 Intervjuguide

#### **Intervjuguide**

Intervjuene foretas som et semi-strukturert intervju; spørsmålene er veiledende for tema som vi skal og tas i rekkefølge som faller naturlig for samtalen. Enkelte spørsmål legges til/utelates for enkelte avh. av hva som er relevant.

#### **Intro.**

Hvordan bakgrunn har du (utdannelse, andre arbeidsplasser)?  
Hva er dine arbeidsoppgaver?

#### **CCS i Norge**

Hva er etter ditt syn hovedtrekkene i dagens/direktoratets politikk/policy på CCS generelt?  
Hvordan vil du beskrive debatten om CCS i Norge i dag?  
Kjenner du til andre (norske) prosjekter som tar for seg/bruker alger i CCS sammenheng?

#### **Mikroalger og CCS / Mikroalger som klimatil- tak**

Hvor relevant er mikroalger som klimatil-  
tak? Hva skal til for at noe slik skal være et klimatil-  
tak? Hva tenker du om potensialet for den type tiltak vi snakker om her i dag? Alene, eller som  
et av mange tiltak?  
Hva ser du på som *mulighetene* med mikroalger som et rent CCS-tiltak og som substitutt for  
fossile innsatsvarer?  
Hva ser du på som *utfordringene* med mikroalger som et rent CCS-tiltak og som substitutt for  
fossile innsatsvarer?  
(Hva ser du på som de viktigste argumentene for og mot den bruken av alger slik det er tenkt i  
dette prosjekt?)  
Er det bestemte spesifikke miljøpolitiske diskusjoner som dette berører/er relevant for dette  
tema? Hvilke?

#### **Gjennomførbarhet og rammebetingelser**

For de med regulatorisk kompetanse og/eller myndighet:  
Hva er de viktigste rammeverk, lover og regler som kan være aktuelle for disse tiltakene  
Påvirker bruk av eventuell mikroalger for CCS /dyrking av alger?  
Internasjonalt vs. nasjonalt tiltak? Overførbarhet? Global rolle? Norge som foregangsland  
Implementerbarhet: hvem skal /kan implementere/være en utfører for dette (bruk av mikroalger  
for CCS)?

Som et case: lukket havområde (fjord) eller åpent havområde. Har du noen tanker om dette?

#### **Relevante stakeholder og annet**

Vi ønsker å snakke med flere i forbindelse med vårt prosjekt, har du noen forslag til relevante stakeholdere/nøkkelinformanter? Hvem er det viktig at vi snakker med?

Før vi runder av, er det noe du ønsker å legge til?

## 8.2 Samtykkeerklæring

### Samtykkeerklæring for forskningsprosjektet *microAlgae*

Samtykkeskjema gjelder for prosjektet *microAlgae for climate, food and feed* (01.07.2014 - 30.06.2017) finansiert av Norges Forskningsråd, WP6: ELSA issues, stakeholder processes and environmental aspects.

Målsetningen med *microAlgae*-prosjektet er å studere potensiell bruk av mikroalger for a) CCS og b) som erstatning for fossilbaserte produkter. I studiet har vi behov for å gjøre opptak av intervjuet.

Ansvarlig for WP6 er SIFO og NIVA, og ansvarlig for behandling av intervjudata vil være Harald Throne-Holst (SIFO) (harald.throne-holst@sifo.no) og Line Barkved (NIVA) (lba@niva.no). Data vil kun bli brukt til forskning og behandles konfidensielt innenfor prosjektgruppen.

Jeg erklærer herved at

1. Jeg er kjent med prosjektets tema og hensikt
2. Jeg er informert om at min deltakelse er frivillig og at jeg på hvilket som helst tidspunkt under intervjuets/prosjektets gang kan velge å trekke meg
3. Jeg er kjent med og godkjenner at intervjuet tas opp på bånd og vil bli delvis transkribert
4. Jeg er kjent med at intervjuopplysninger som kan føres tilbake til meg, vil bli anonymisert og at data slettes når prosjektet og tilhørende publikasjoner er ferdigstilt
5. Jeg godkjenner at sitater kan bli brukt i anonymisert form i vitenskapelige publikasjoner og i formidling, dvs. navn vil ikke bli oppgitt, men rolle og arbeidssted kan bli oppgitt

Eventuelle ønsker og/eller behov for datahåndtering:

.....  
.....

Sted/dato:

.....

Underskrift:

.....

Forskers navn og underskrift:

### 8.3 Program og deltakere på workshop 19.05.15

#### **Mikroalger for karbonfangst og lagring – muligheter og utfordringer**

Tid: Tirsdag 19.mai 2015, 09:30-13:00

Sted: SIFO

#### **Program**

09:30-09:45 **Kaffe**

**Innledende foredrag** (5 minutter av tiden satt av til oppklarende spørsmål)

09:45-10:00 Velkommen og bakgrunnen for workshop: Mikroalger til karbonfangst og lagring gjennom en samfunnsfaglig linse (Harald Throne-Holst, SIFO)

10:00-10:15 Kort om MicroAlgae-prosjektet (prosjektleder Vidar Jensen, UiB)

10:15-10:35 Mikroalger som mulighet for karbonfangst og lagring – forskningsstatus (Tore Brembu, NTNU og Trine Dale, NIVA)

10:35-10:55 Londonprotokollen og regulering av utslipp til hav for beskyttelse av det marine miljø - Anja Elisenberg (KLD)

**Pause** *Det vil bli servert lett lunsj som del av møtet*

11:10-13:00 **Workshop**

1. Refleksjon og oppfølging av spørsmål knyttet til dagens innledninger
2. Diskusjon av aspekter ved bruk av mikroalger for CCS på bakgrunn av dagens innledninger

#### **Deltakere på workshop SIFO, 19.05.2015**

Anja Elisenberg	Klima og miljødepartementet
Helene Frigstad	Miljødirektoratet
Tore Filbakk	Norges Vel / Algeforeningen
Tore Strohmeier	Havforskningsinstituttet
Steinar Bergseth	Norges Forskningsråd
Marit S. Valseth	Innovasjon Norge
Svein Guldal	Norges Bondelag
Trine Dale	NIVA
Tore Brembu	NTNU

Vidar Remi Jensen	Universitetet i Bergen
Tobias Boström	Universitetet i Tromsø
Atle M. Bones	NTNU
Line Barkved	NIVA
Harald Throne-Holst	SIFO
Gunnar Vittersø	SIFO

#### 8.4 Referat fra workshop 19.05.15

### **Microalger for karbonfangst og lagring – muligheter og utfordringer. Oppsummering fra møtet.**

**Tid:** Tirsdag 19. mai 2015 09:30- 13:00.

**Sted:** SIFO

**Til stede:** (se vedlagt deltakerliste)

**Vedlegg:** program, deltakerliste, presentasjoner, Londonprotokollen

**Referenter:** Line, Gunnar og Harald

*Møtet og workshopen er en del av microAlgae-prosjektet som startet i fjor sommer. I en av arbeidspakkene i prosjektet, ledet av SIFO og NIVA, jobber vi med å belyse juridiske, etiske, sosiale, miljømessige aspekter ved forskning/ny teknologi knyttet til microalger for karbonfangst- og lagring. Prosjektet er ett av fire prosjekter som ble finansiert av Forskningsrådets første idélab med tema «mot et nullutslippssamfunn» arrangert i 2014. Målsetningen med møtet var å ha en åpen dialog om ulike aspekter knyttet til bruk av microalger for karbonfangst og lagring.*

#### ***Innledende foredrag***

Harald Throne-Holst (SIFO) ønsket velkommen og ga en kort introduksjon til workshopen (se program)- *Microalger til karbonfangst og lagring gjennom en samfunnsfaglig linse*

#### ***Kort om MicroAlgae-prosjektet (Vidar Remi Jensen, UiB):***

Prosjektleder for MicroAlgae ga bakgrunn for prosjektet med vekt på de to ulike hoveddelene som MicroAlgae-prosjektet består av: a) Bruk av mikroalger som tiltak for CCS, og som var hovedtema for workshopen. b) utvikle metoder, teknologi, kunnskap for økt utnyttning av alger til anvendelse og som innsatsfaktor til mat, plast, brennstoff, fôr og en rekke andre formål. Han understreket at til tross for at CCS-delen er betydelig mindre enn anvendelsesdelen er det klare sammenhenger mellom de to delene. For det første skal begge delene vurderes i forhold til etiske, juridiske, sosiale og miljømessige aspekter (ELSA-analyse). For det andre inngår det i begge delkomponentene å forske på / finne fram til alger med nye og forbedrede egenskaper for anvendelse for hhv. CCS og lipid/alfaolefin produksjon. Prosjektet er veldig tverrfaglig, det angriper samme fagtema fra veldig forskjellige vinklinger. Prosjektet er et av fire prosjekter som ble til og finansiert gjennom Forskningsrådets første idelab. Idelab-prosjektene skal være høyrisiko prosjekter, hvor planer og handlingsløp evalueres etter hvert som prosjektet og ny innsikt vokser fram. Prosjektet er nå ved et beslutningspunkt. Dagens workshop er viktig som grunnlag for en beslutning om videre forskning på mikroalge for CCS innenfor prosjektets rammer.

- Dersom konklusjon fra ELSA-analysen blir at dette ikke er akseptabelt å forske på – så vil prosjektet dreies mot det første beinet - andre anvendelsesmuligheter for alger - ikke CCS.

***Microalger som mulighet for karbonfangst og lagring (Tore Brembu, NTNU):***

Mikroalger spiller en stor rolle i karbonomsetningen globalt.

Begrensende faktor for oppblomstring og algevekst er tilgang på næringsstoffer. Jern kan være begrenset tilgang spesielt i Sørishavet og Nordlige Stillehav, men også i Nordsjøen og Norskehavet.

Også Nitrogen og fosfat er viktige næringsstoffer – men ikke begrensende i de samme geografiske områdene som jern.

13 Meso-skala forsøk med havgjødsling har vært foretatt i perioden 1993 – 2009. Det siste ble foretatt etter at et forbud ble fremforhandlet i Londonprotokollen.

De fleste forsøkene er foretatt i Sørishavet. Ingen i det Nordlige Atlanterhav. Det har vist seg vanskelig å dokumentere i hvor stor grad en greier å fange CO<sub>2</sub>. Man har ikke greid å følge utviklingen i den grad det er mulig å bekrefte om algene sedimenterer. Unntaket er EIFEX-prosjektet i 2004 som var et forsøk i Sørishavet der havstrømmene danner en virvel slik at spredningen begrenses. Dette muliggjorde et mer kontrollert eksperiment. Fikk algeoppblomstring og 50% ble transportert ned til under 1000 m dybde. Algene som blomstret og sank var hurtigvoksende i starten – for så å kollapse. Dette er kiselalger som danner kjeder og har store tråder og som aggregerer lett (har en stor cellestørrelse). Fordi cellene aggregerer hurtig synker de også raskt.

Fjorder kan spille en større rolle i å begrense CO<sub>2</sub>i atmosfæren enn tidligere antatt, og tar opp mest per areal av alle havtyper. Fjorder har god lagringsevne (se presentasjon).

***Microalger som mulighet for karbonfangst og lagring – hvorfor skepsis? Trine Dale (NIVA)***

- Stor skala, innebærer en eller annen form for «tukling» med naturen.
- Det er også et spørsmål om hvor effektivt det er?
- Oppblomstring i næringsfattige områder er godt dokumentert, men sedimentering er ikke godt dokumentert
- Usikkerhet knyttet til negative effekter: eks. negative strukturer i næringsnettet – eks. skifte fra små til store alger – økt forekomst av bakterier, virus
- Redusert oksygenivå
- Biodiversitet på havbunnen
- Forsuring i dypere vannlag
- Økt produksjon av andre klimagasser (dms, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)

Dokumentasjon på oppstrøms- og nedstrømseffekter – mellom næringsstoffer: Kan effekter begrenses til ett område – og over tid? Dvs. spørsmål knyttet til både spredning vertikalt og horisontalt. Hvordan kan en begrense og følge med på hva som skjer?

Spørsmål til diskusjon: Finnes det ultimate eksperimentet – kan det gjøres bare i liten skala? Hva skjer når det skaleres opp? Inkluderer både natur og etiske spørsmål. Når vet vi nok til å kunne oppskalere?

***Londonprotokollen og regulering av utslipp til hav for beskyttelse av det marine miljø (Anja Elisenberg, KLD)***

Londonprotokollen ble utarbeidet i 1996 for å bekjempe dumping til havs og kom som en erstatning for Londonkonvensjonen. Norge har vært med å fremforhandle avtalen og selv om den ikke er ratifisert, må Norge forholde seg til reguleringene i Londonprotokollen som inkluderer et generelt forbud mot dumping til sjøs.

Unntak: Plassering av materiale for annet formål enn deponering forutsatt at det ikke strider mot protokollens formål, jf. liste i vedlegg 1 til protokollen (CO<sub>2</sub> for lagring i geologiske formasjoner, kloakkslam, fiskeavfall, mudringsmasser etc.).

Havgjødsling i stor skala er generelt ikke tillatt etter Londonprotokollen bla. fordi det representerer mulig ukjente skadevirkninger på havmiljøet. Føre-var-prinsippet anvendes også fordi det ikke utelukkende er seriøse aktører på feltet. Ulike instanser har pekt på behov for regulering blant annet IPPC og CBD. Et eks. er det canadiske eksperimentet med gjødsling for å øke lakseproduksjonen.

Historikk: Arbeidet med regulering av havgjødsling innenfor Londonprotokollen: 2007 – 2013. Unntak for forbud gjelder for seriøs forskning («legitimate scientific research»).

I 2013 ble avtalen ferdig fremforhandlet, men ikke ratifisert. Den er imidlertid politisk forpliktende, spesielt for Norge som har vært aktivt med å fremforhandle avtalen.

Liste over forbudte aktiviteter (6bis – vedlegg 4)

Vedlegg 5 – generelle retningslinjer – (kan brukes av myndighetene – vurdering etter forurensningsloven – som dekker disse retningslinjene i vedlegg 5).

Londonprotokollen tar ikke hensyn til om forsøk skjer i stor eller liten skala.

Havgjødsling ses som et tiltak for geoengineering og som man generelt ønsker å regulere (føre-vår) (se generell definisjon av geoengineering). Havgjødsling er geoengineering etter denne definisjonen.

Tillatelse kan kun gis om det er i overenstemmelse med vedlegg 5.

En søknad om havgjødsling for CCS må være begrunnet slik at det fremstår som noe mer enn dumping. Tiltaket må være godt beskrevet og garantere tilstrekkelig med overvåkning. Skal gi økt bidrag til kunnskap på feltet, krav til metode, fagfelleverdert, og ikke kommersielle økonomiske interesser involvert: Prosjekter må ha tilstrekkelig økonomisk fundament og må kunne publisere resultatene i fagfelleverderte tidsskrift.

Londonprotokollen gjelder ikke innenfor grunnlinjen – forurensningsloven kommer her likevel til anvendelse. Med hensyn til tillatelser er forholdet mellom internasjonal og nasjonal regulering av avgjørende betydning.

*[Pause med mat etter de innledende foredragene etterfulgt av diskusjon.]*

**Tore Strohmeier (Havforskningsinstituttet)** fikk innlede etter lunsj med å fortelle om deres prosjekt med oppstrømming av næringssalter for produksjon av biomasse til mat/fôrproduksjon i Lysefjorden.

Prosjekt for matproduksjon – kan også binde karbon. Lysefjorden (som er en terskelfjord) er unik i fht. å kunne manipulere økosystem på denne måten.

Mål å øke produksjonen for laksefôr. Mer karbon lagres innerst i fjordene, sedimenterer fortere innerst i fjordene. Øker hastigheten på partikler som synker kombinert med økt produksjon av biomasse.

Prosjektet har hatt mer fokus på karbonbudsjett tidligere. Lokalmiljøet har vært positive til prosjektet bla. fordi det kan bidra til ny næringsaktivitet. Prosjektet med oppstrømming kan være en mulighet for ny næringsvirksomhet. Godt samarbeid lokalt.

Mulig risiko for at CO<sub>2</sub>- kan løftes opp med oppstrømming? Ja sannsynligvis, noe mangel på kunnskap her, åpent hvordan dette spres.



Ca 4.400 km<sup>2</sup> areal i Norge kan være egnet for denne type prosjekter. Næringssaltene befinner seg her grunnere enn i andre fjorder.

Er det slik at produksjon til biomasse er mer akseptabelt enn et rent CCS-tiltak? Tiltak ala Lysefjorden kan gi 0,5 - 1,5-2 mill. tonn (1% av Norges totale utslipp?) over et areal på 4400 km<sup>2</sup>.

Binding har vi en del kunnskap om. Lagringen er den store utfordringen med hensyn til kunnskap.

Videre forskning vil kunne effektivisere lagringseffekten.

### **Diskusjon - kommentarer og spørsmål som kom opp under de innledende presentasjonene og i den videre diskusjonen:**

- Hva er et ideelt eksperiment?
- Hva er kunnskapsgrunnlaget – skal det drives forskning på området?
- Hva er effekten for CO<sub>2</sub>- hvor mye monner det?
- Havbruket/havarealet: hvor mye areal trengs?
- Hvor mye CO<sub>2</sub> kan dette fange? Hvor stort havområde trenger man? Hva er skalaen? (Som vist har fjorder stort potensiale sammenliknet med andre sjøaraler)

Noen tall som ble nevnt:

4 millioner tonn høstbart per år (CO<sub>2</sub>ekvivalenter). Ca. 25 prosent vil kunne fanges og lagres. Norsk skog tar opp 30 millioner tonn per år, men usikkert hva som lagres. Totalt slipper det ut 55 mill. tonn CO<sub>2</sub> fra norsk virksomhet per år.

- Årsaker som nevnes for å være skeptisk til mikroalger som CCS-tiltak er bl.a.:
  - Kan man dokumentere lagringseffekten?
  - Og de økologiske konsekvensen er ukjente.
  - En bør kanskje heller se på mulighetene for å bruke biomassen enn å sedimentere karbon fordi det kan substituere CO<sub>2</sub> brukt til andre formål.
- Vurdere om høste biomasse fra oppblomstring i havet eller på land? Er det gjort noen vurderinger ved å kunne gjøre dette på land i og med at det er så strenge reguleringer i havet (Londonprotokollen / forurensingsloven)? Og man ender fort opp i arealdiskusjoner.
- Det ble påpekt at mikroalger er en verdifull ressurs – ikke la dette synke og lagres. Bærekraftsvurderinger må inn.
- Spørsmål ble stilt om man kan finne arter som kan kombinere begge effektene? Dette er neppe enkelt. Mulig å finne generalist-alger, men de vil trolig ikke være optimale for verken CCS eller lipidproduksjon. Lipidmengden er viktig for bioproduksjon, men uvesentlig for lagring hvor tyngden/størrelse er viktig for å kunne sedimentere.
- Spørsmål kom opp om hvor mye en faktisk greier å fiksere av karbon: en modellstudie viser 10 % effekt globalt.

- I microalgeprosjektet - se på muligheter for å så inn (seed) en spesialtilpasset alge sammen med gjødsling. Spørsmål kom da opp: hva med fremmedarter? Det handler da om utsetting av en alge, må det da også søkes om tillatelse for utsetting av alger?
- Hva er sannsynligheten for et forskningsprosjekt (som microalge) å få tillatelse for et eksperiment? Kan det være enklere å få til lokalt enn i havet? Er det mulig å finne fjordsystemer som kan stenges av å gjøre eksperimenter i?
  - F.eks. i en norsk fjord, et ideelt forskningsområde? Finne igjen, sporing - kan kontrollere enklere i fjor? Er det en alge som kan aggregere fort, kan den kanskje følges bedre i en fjord?
  - Man kan i større grad gjenfinne biomassen i en fjord enn i åpent hav. Det er nesten umulig å finne i et åpent hav – fortykning og store vannmasser.
  - For en norsk fjord, her vil ikke Londonprotokollen gjelde. Men her er det forurensningsloven som gjelder.
  - Spørsmål til myndighetsrepresentanter: anbefale å gjøre hvor? Vanskelig å gi generell anbefaling her, men en anbefaling er å gjøre der det er best ut fra forskningsperspektiv. Påpekes også at hvis man vil sette ut alger samtidig som å gjødsle må det søkes om godkjenning for både algen og for gjødslingen.
  - En utfordring er (som nevnt) at det er vanskelig å måle/dokumentere effektene, og ikke minst overvåke. Det som vises i tidligere studier (fra litteraturen) er at det vellykkede forsøket var i et område med virvelstrøm slik at det gikk an å overvåke. Et annet spørsmål: Dette er veldig dyr forskning, og krever mye utstyr, båt osv. slik at det også blir et spørsmål om finansiering (til forskningen)
  - For et eksperiment må man også tenke på hva slags begrensinger som eksisterer (jern er ikke begrensning over alt) ...
    - Eksempel Lysefjorden: Silikat, nitrat og fosfat som svinger over året Lysefjorden er det bassengvannet som er ressursen med enorme mengder næringssalter ... så her er det «naturlig» gjødsling ...
  - Hvor stort må eksperimentet være? Dersom fjordeksperiment er det beste (der kan det avgrenses, kan måles og dokumenteres), hvor mye kan dette da si om fullskala i hav?
- Spørsmål om prosess i Londonprotokollen: Er det noen formening om det kan bli endringer i protokollen dersom klimaeffekten blir mer tydelige? Har ikke kommet dit. Har nok ikke rukket å tenke på om det vil være noen endringer i holdning til CCS som tiltak. Det ble også kommentert på «shutdown» blant amerikanere: amerikansk part kom ikke på møte da protokollen skulle vedtas (har ikke ratifisert). Dette er ikke en uvanlig posisjon for amerikanske parter å ta i slike prosesser.
- Punkter knyttet til innspill på eventuell utvikling av prosjektet:
  - Det ble nevnt av flere at ideelt er å utnytte biomassen (ikke bare CCS).
  - Lagringsdelen (i CCS) bør være fangst som kan komme samfunnet til gode igjen.
    - Kan de ulike delene (lipidproduksjon og CCS) sees i sammenheng? trenger ikke være motsetninger.

- Se på hvordan definerer lagringsbiten i CCS. Korte og lange kretsløp.
- Bioøkonomi: vi bør regne på bærekraft. Ved å utnytte blå og grønne karboner er det nok i verden. Vi må lære oss hvordan dette blir bærekraftig i en sirkulær økonomi ...
- Karbonnegativ versus karbonnøytral teknologi: Klimapanelet (IPCC) legger vekt på karbonnegative tiltak mest knyttet til BECCS-teknologi og deforrestation. Vi vet lite om til BECCS-teknologi. Nærmeste kjente anlegg i Sverige. Det er fortsatt mange ukjente faktorer ved dette (ressursforbruk ved disse prosessene ...). Fint om prosjektet kan bidra med mer innsikt her.
- Se på arbeid av /eventuelt diskutere med Richard Owen (EPRC, britiske forskningsrådet): Georingeneering i atmosfæren ... erfaringer rundt de spørsmål vi diskuterer her. Kan være aktuelt å diskutere med rundt metodikk etc.

### Oppsummering:

- Londonprotokollen gir unntak for forsøk knyttet til seriøs forskning. I fjord er det norsk forurensingslov som gjelder.
- Fjord vs. havgjødsling (eksperiment eller fullskala) var et spørsmål som gikk igjen gjennom hele diskusjonen. Spørsmålet ble ikke diskutert i sin fulle bredde, kanskje fordi det er vanskelig å skille tiltakene og at vi fortsatt har for liten kunnskap om alle ulike konsekvenser. I det videre arbeidet er et forslag å sette opp en liste med utfordringer knyttet til hhv stor/liten skala samt hav vs. fjord.
- Klargjøre og vurdere hvordan definere lagringsbiten i karbonfangst-og lagring: Se på muligheter for å omdefinere denne? I litteraturen finner vi blant annet CCS (Carbon Capture and Storage og CCU (U- usage), men det er ikke alltid like ryddig hvordan disse begrepene benyttes. På møtet kom det opp fra flere stakeholder at man bør se på muligheten for direktebruk av algen (biomassen) også i tilknytning CCS. Kanskje større aksept også lokalt om det bidrar til biomasseproduksjon og potensiale for næringsutvikling framfor rent CCS? Det kan imidlertid være utfordrende å finne alger som har gode egenskaper for begge deler.
- Spørsmål ble reist om mikroalger for CCS er bærekraftig i det hele tatt? Argumentet er at mikroalger er en for verdifull ressurs til å la sedimenteres på havbunnen. Det er mulig å lagre karbon for *kortere tidsrom* i produktene, eller få til en *karbonnøytral produksjon* basert på alger. Argumentet mot dette er at det ikke bidrar som et *karbonnegativt tiltak* slik ICCP bl.a. etterlyser trengs om vi skal nå 2-graders målet (på en kostnadseffektiv måte).
- I tråd med punktene over, ble det etterspurt om prosjektet også kan undersøke alternative anvendelser av biomassen fra mikroalger, kombinere bioproduksjon med lagring. Da må fangsten av CO<sub>2</sub> (sannsynlig) skje på land (BECCS-teknologi) og lagring muligens i undersjøiske reservoarer. Nærmeste kjente anlegg i Sverige. Det er imidlertid mange ukjente faktorer ved dette. Fint om prosjektet kan bidra til mer innsikt her.

- Workshopen ga et viktig grunnlag for diskusjonen som skal tas i prosjektet om veien videre. Momenter:
  - Potensialet som et CCS-tiltak
  - Mulighetene for å få tillatelse for forsøk
  - Overføringsverdi mellom de to delkomponentene i prosjektet (forskning på egenskaper v alger, annet?)
  - Bærekraftsvurdering – behov for karbonnegative tiltak – men kan snu på det: hva er behovet for mikroalger som biomasse. Karbonfangst vs. å lagre eller å lage kortere syklus hvor karbonet kommer inn i næringskjeden.



Forbruksforskningsinstituttet SIFO ved Høgskolen i Oslo og Akershus (HiOA) har et spesielt ansvar for å bidra til kunnskapsgrunnlaget for forbrukerpolitikken i Norge og skal utvikle ny kunnskap om forbruk, forbrukerpolitikk og forbrukernes stilling og rolle i samfunnet.

Sentrale forskningstema er:

- forbrukerne i markeder og forbrukervalg
- husholdningenes ressursdisponeringer
- forbrukerøkonomi - gjeldsutvikling og fattigdom
- teknologisk utvikling og forbrukernes hverdag
- digitalt hverdagsliv og mestring
- miljøeffekter av ulike typer forbruk
- mat- og spisevaner
- tekstiler - verdikjeder - konsekvenser for hverdagsliv og miljø
- forbrukets betydning for inkludering i sosialt hverdagsliv
- forbrukerpolitikk

**SIFO**

Forbruksforskningsinstituttet

**HØGSKOLEN I OSLO  
OG AKERSHUS**

Boks 4 - St. Olavs plass - N-0030 Oslo.

**Besøksadresse:** Sandakerveien 24C.

**Telefon:** +47 22 04 35 00 **Fax:** +47 22 04 35 04

**E-mail:** [post@sifo.hioa.no](mailto:post@sifo.hioa.no) **Internett:** [www.sifo.no](http://www.sifo.no)

