

## 2.3

### Fjordcult – dyrking av fjorder

Det er for første gang vist at brakkevannsdrevet oppstrømning av dypvann kan øke produksjonen av alger i et fjordområde. Kunstig oppstrømning av næringsalter fra dypere vannlag resulterte i en om lag tredobling av både algeproduksjonen og algebiomassen innerst i Lysefjorden i 2004. Det var tydelige endringer i algebildet i influensområdet for kunstig oppstrømning. En økt og stabil algeproduksjon, med dominans av giftfrie alger, kan skape grunnlag for en mer forutsigbar dyrking av blåskjell i våre fjorder.

Jan Aure

jan.aure@imr.no

Øivind Strand

oivind.strand@imr.no

Tore Strohmeier

tore.strohmeier@imr.no

Tonje Castberg

tonje.castberg@imr.no

#### Bakgrunn

Oppbyggingen av blåskjellnæringen i Norge har vært hemmet av manglende forutsigbarhet i dyrking av skjell med høy kvalitet og alger som gir giftige skjell. På denne bakgrunn har det vært etterlyst mulige tiltak som kan bedre bæreevnen og redusere problemet med algegifter. Forsøk i store poser i sjøen og i poller, og erfaringer fra naturlige oppstrømningsområder, viser at økte tilførsler av naturlige næringsalter fra dypere liggende vannlag fører til økt primærproduksjon og dominans av alger som vanligvis ikke gir giftige blåskjell.

Da næringsalterne i norske kyst- og fjordområder stort sett er brukt opp i de øverste 25–30 meter av vannsøylen i løpet av våroppblomstringen, er produksjonen av “nye” alger og dermed fødetilgangen til blåskjell ofte betydelig redusert utover sommeren og høsten. Litt dypere, der lysforholdene ikke er gode nok for algevekst, ligger det likevel et stort lager av naturlige næringsalter som ikke kommer opp til overflaten og således ikke kan inngå i ny algeproduksjon.

Det er utført modellberegninger med kunstig oppstrømning av dypvann i fjorder som viser at algeproduksjonen kan



Figur 2.3.1

Flåteanlegget i Lysefjorden for kunstig oppstrømning av dypvann.

The artificial upwelling platform in Lysefjorden.

økes tre-fire ganger. Næringsalterne i dypere liggende lag innbefatter silikat som favoriserer vekst av diatomeer, som erfaringsmessig gir lite giftproblemer i skjell.

I de siste årene er det etablert et flåteanlegg med pumpe (Figur 2.3.1) for storskala utprøving av kunstig oppstrømning. Den indre del av Lysefjorden i Rogaland ble valgt bl.a. på bakgrunn av det indre fjordbassengets størrelse, god tilgjengelighet på næringsalter i dypere liggende lag og god tilgang på ferskvann/brakkevann.

Helt avgjørende for prosjektets gjennomføring er sentrale aktører innen utviklingen av blåskjellnæringen i Rogaland, som ser de store mulighetene som ligger i en forutsigbar dyrking av blåskjell både med hensyn til fødetilgang og reduserte problemer med giftalger.

#### Anlegget for kunstig oppstrømning av dypvann

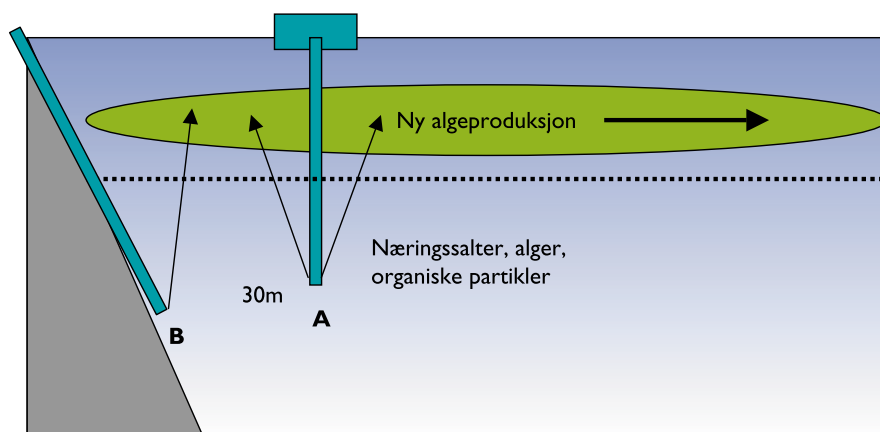
Ved hjelp av en pumpe med en driftseffekt på ca. 65 Kw (85 HK) plassert på en flåte (Figur 2.3.1 og 2.3.2 punkt A), blir brakkevann pumpet fra overflaten gjennom et rør ned til ca. 28 meters dyp innerst i Lysefjorden. Vannet som strømmer ut av røret er lettere og stiger derfor opp mot overflaten. På veien opp blandes det med saltene næringsrikt vann, før det lagrer seg inn i det dypet med samme tetthet som

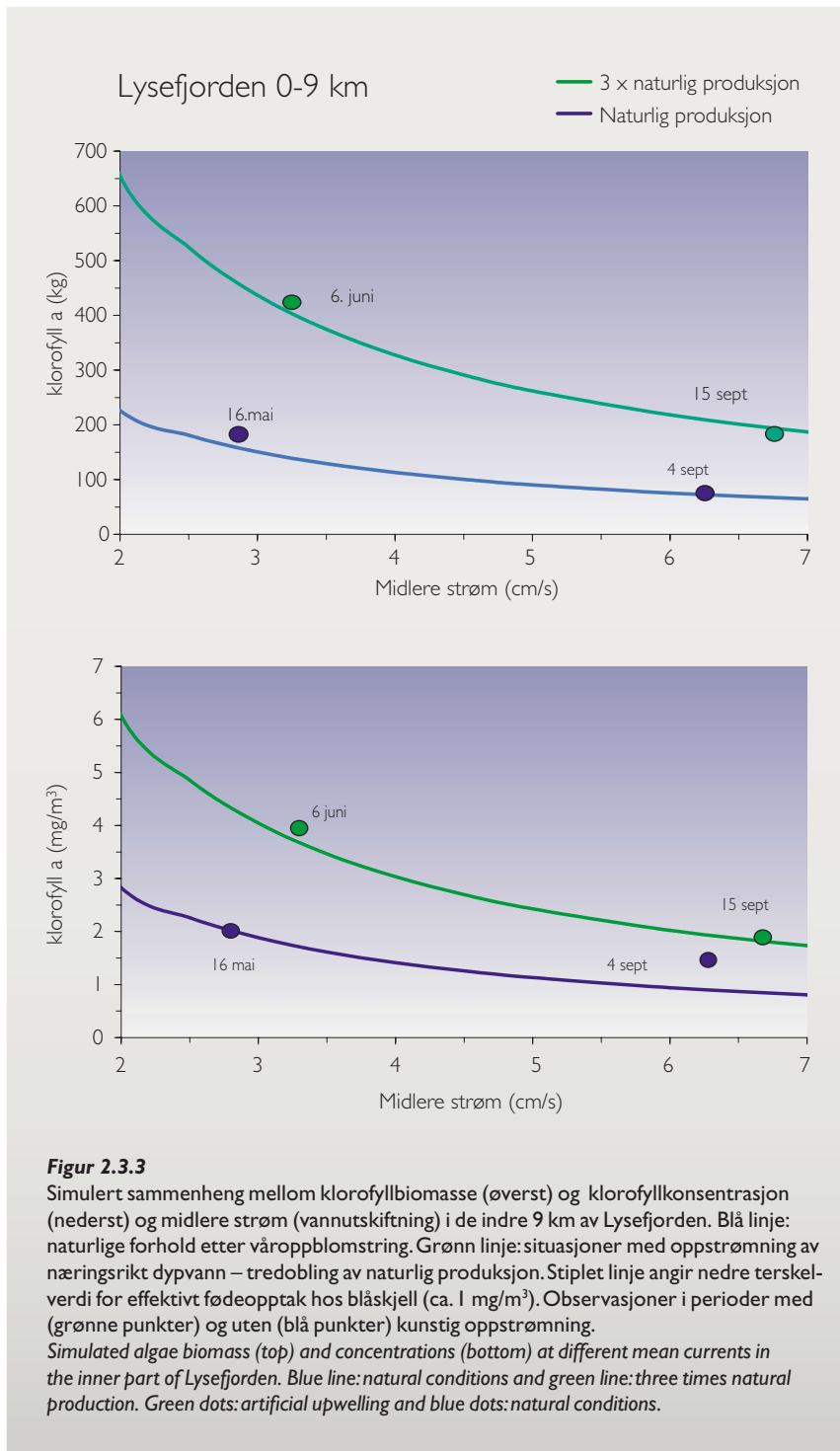
Figur 2.3.2

Prinsippskisse for kunstig oppstrømning.

A: Anlegget i Lysefjorden som pumper ned brakkevann B: Utslippsvann fra vannkraftverk eller fra en ferskvannskilde med tilstrekkelig vannføring og fallhøyde.

The principle scheme of the artificial upwelling system in Lysefjorden. A: The pump for bringing brackish water down B: Water from either hydro electric power plant or natural fresh water source.





**Figur 2.3.3**

Simulert sammenheng mellom klorofyllbiomasse (øverst) og klorofyllkonsentrasjon (nederst) og midlere strøm (vannutskiftning) i de indre 9 km av Lysefjorden. Blå linje: naturlige forhold etter våroppblomstring. Grønn linje: situasjoner med oppstrømning av næringsrikt dypvann – tredobling av naturlig produksjon. Stiplet linje angir nedre terskelverdi for effektivt fødeopptak hos blåskjell (ca. 1 mg/m<sup>3</sup>). Observasjoner i perioder med (grønne punkter) og uten (blå punkter) kunstig oppstrømning.

Simulated algae biomass (top) and concentrations (bottom) at different mean currents in the inner part of Lysefjorden. Blue line: natural conditions and green line: three times natural production. Green dots: artificial upwelling and blue dots: natural conditions.

blandingsvannet. Pumpen har en kapasitet på ca. 2 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, og mengden oppstrømmet vann til innlagringsdypet er beregnet til 10–15 ganger vanntransporten i røret, det vil si 20–30 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. Det oppstrømmende vannet fører med seg næringsalter, organisk materiale og alger fra dypereliggende vannlag til innlagringsdypet. Nærings-saltene og organisk materiale fører til ny produksjon av alger i innlagringsdypet. Opportunistiske algearter vil respondere raskt på næringen som er tilført.

Innlagringsdypet for det oppstrømmende vannet vil øke ved sterkere lagdeling i fjorden og høy tetthet av vannet som

strømmer ut fra røret. Basert på tettheten og tetthetsprofilen i fjorden kan vi beregne innlagringsdyp og blanding for det oppstrømmende dypvannet. Ved å tilsette fargestoffet fluorescein i pumpevannet, viste målingene i fjorden at det var god overensstemmelse mellom beregnet og observert innlagringsdyp. Også de fleste målinger av klorofyll i dybdeprofilene på stasjoner i influensområdet viste god overensstemmelse med simulert innlagringsdyp. Alternativet til å pumpe ned brakk-/ferskvann er å benytte utslippsvann fra vannkraftverk eller fra en ferskvannskilde med tilstrekkelig vannføring og fallhøyde (se Figur 2.3.2 punkt B).

### Hva sier modellene?

Modellberegninger er illustrert i Figur 2.3.3 og viser hvordan utgående strøm påvirker midlere algekonsentrasjon og totale mengde av alger i indre del av Lysefjorden under naturlige forhold (blå linje) og med en tredobling av algeproduksjonen som følge av kunstig oppstrømning (grønn linje). Under naturlige forhold vil algekonsentrasjonene avta gradvis fra et maksimum på ca. 2,5 mg klorofyll m<sup>-3</sup> ved svake strømmer, til nær eller under 1 mg klorofyll m<sup>-3</sup> ved strøm over ca. 5–6 cm sek<sup>-1</sup>.

Med klorofyll under ca. 1 mg m<sup>-3</sup> reduseres fødeopptaket til blåskjell vesentlig. Dette viser at under naturlige produksjonsforhold i fjorden vil fødetilgangen til blåskjell i anlegg være vesentlig redusert når midlere strøm er over ca. 5 cm sek<sup>-1</sup>. Med kunstig oppstrømning vil algebiomassen øke, og fødetilgangen og bæreevnen opprettholdes ved langt høyere strømhastigheter, dvs. under langt mer varierende vind- og strømforhold i fjorden.

I Figur 2.3.3 er det også verd å merke seg at forskjellene i konsentrasjon (og biomasse) av alger med og uten kunstig oppstrømning avtar med økende vannutskiftning (strøm) i fjorden. I undersøkelsen er det derfor helt nødvendig å sammenligne situasjoner under tilnærmet like strøm- og vindforhold i fjorden.

### Hva skjedde med algeproduksjonen i Lysefjorden?

Strømforholdene under brakkvannslaget i indre del av Lysefjorden var betydelig påvirket av vindforholdene, dvs. mye vind gir mye strøm. I samsvar med modellberegningene viste også målingene, med få unntak, at strøm og vind påvirket algebiomassen i indre del av Lysefjorden.

I Figur 2.3.3 er det gitt eksempler på observert midlere klorofyllkonsentrasjon i de indre 9 km av Lysefjorden med (6. juni og 15. september) og uten (16. mai og 4. september) kunstig oppstrømning under forskjellige strømforhold. Disse målingene sammen med andre viste at algebiomassen (klorofyll) og algeproduksjonen var om lag tre ganger større i influensområdet for kunstig oppstrømning. En så klare forskjeller i artssammensetningen av alger i og utenfor influensområdet, og endringene i næringstilgangen førte ikke til anriking av giftalger i influensområdet.

Den 16. mai og 6. juni 2004 var det lite strøm i fjorden og dermed gunstige forhold for å observere forskjeller i algeforholdene med og uten kunstig oppstrømning (Figur 2.3.4). Observasjonene viste at det var betydelig høyere algekonsentrasjoner og vertikalutbredelse av alger i de indre 9

km av Lysefjorden den 6. juni, med kunstig oppstrømning av dypvann, enn 16. mai uten kunstig oppstrømning. Som nevnt foran var algebiomassen (klorofyll) ca. 3 ganger større den 6. juni.

Da endringene i algebiomassen i indre del av Lysefjorden i 2004 i stor grad later til å være bestemt av strømforholdene (vannutskifting), ser det ikke ut til at beiting fra dyreplankton hadde noen stor innvirkning på algebiomassen i periodene med kunstig oppstrømning. En så i noen tilfeller økt innslag av ciliater i influensområdet. Disse beiter på små algearter, men er også egnet som føde for blåskjell.

Den 19. august 2004 var det en situasjon med sterkt redusert algevekst i innlagingsvannet fra den kunstige oppstrømningen, og det bygget seg opp høyere næringssaltkonsentrasjoner der hvor algene skulle vært. Dette kan skyldes annen næringsbegrensning, virusangrep, beiting eller en tidsforsinkelse i restruktureringen av algesamfunnet etter at miljøbetingelsene er endret.

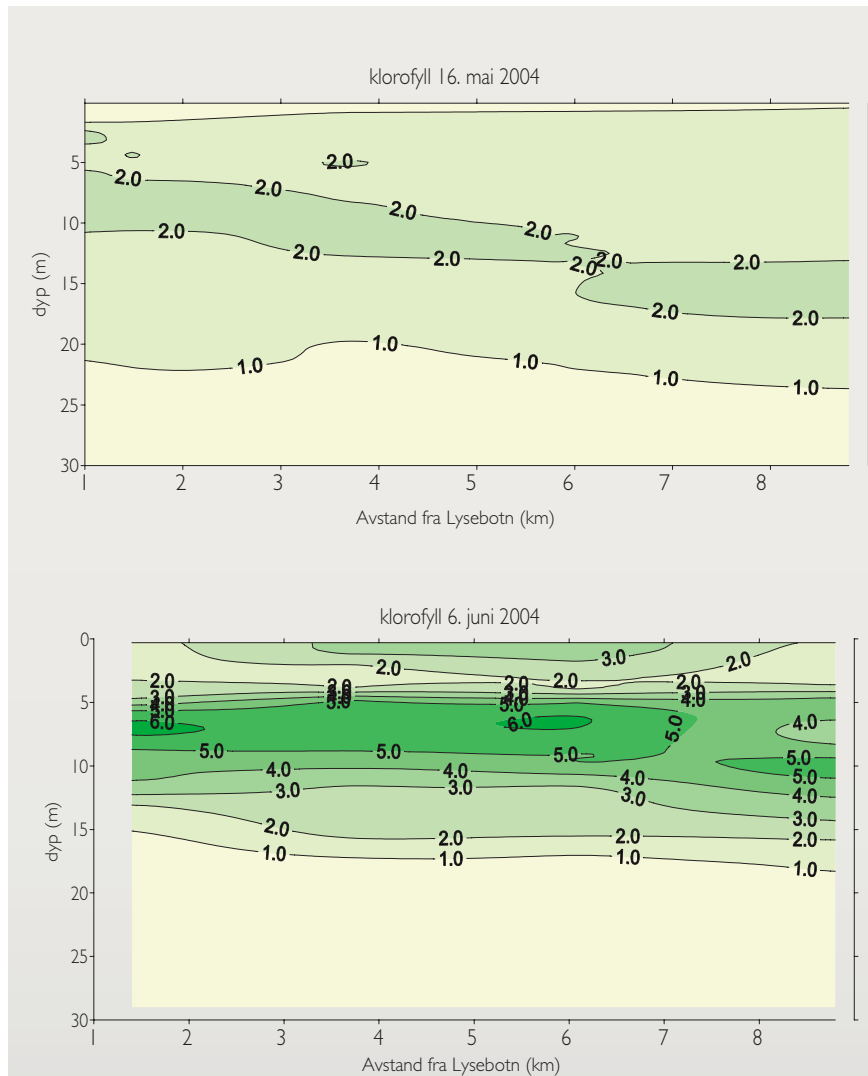
Dette er første gang man har vist at brakkvannsdrevet kunstig oppstrømning av dypvann kan øke produksjonen av alger i et fjordområde.

#### Alger og algetoksiner

Prosjektet har også som mål å undersøke hvordan oppstrømning av dypvann påvirker artssammensetning av alger, særlig med hensyn til grupper som gir giftige skjell. På Vestlandet er det vanligvis økt forekomst av algeslekten *Dinophysis* i perioden fra august og utover høsten som skaper problemer for blåskjellnæringen. Forekomstene av giftige alger var imidlertid sporadiske i kyst- og fjordområdene av Rogaland i 2004. Dette førte til at vi ikke kunne undersøke i hvor stor grad kunstig oppstrømning kan redusere problemet med skjellgiftalger i fjordene (*Dinophysis* sp). En så imidlertid ingen tegn til at næringstilførselen stimulerte disse algegruppene, heller ikke på den årstiden de normalt har naturlig forekomst i området. Ved ett tilfelle så vi en klar økning i forekomsten av diatomeer i influensområdet, men denne algegruppen har ikke i særlig grad ført til giftige blåskjell i Norge.

#### Oppsummering

- For første gang er det vist at brakkvannsdrevet oppstrømning av dypvann kan øke produksjonen av alger i et fjordområde.
- Resultater viser at kunstig oppstrømning av dypvann ved hjelp av dykket brakkvann resulterte i økt biomasse av klorofyll innenfor et influensområde på inntil 9 km ut fjorden. Økningen på ca.



**Figur 2.3.4**

Algekonsentrasjoner (mg klorofyll  $a\ m^{-3}$ ) i 0–30 m dyp i indre del av Lysefjorden 16. mai og 6. juni 2004.

Algae concentrations (mg chlorophyll  $a\ m^{-3}$ ) in the upper 30 meter in the inner part of Lysefjorden 16 May and 6 June 2004.

tre ganger bakgrunnsnivå for algebiomasse og algeproduksjon var i samsvar med beregninger, mens influensområdet var større enn antydning i tidligere beregninger.

- Fravær av giftige alger i Lysefjorden i 2004 gjorde at undersøkelser av i hvilken grad kunstig oppstrømning kan påvirke forekomster av *Dinophysis* sp. ikke kunne gjennomføres. Vi så imidlertid ingen anrikning av slike alger under forsøkene. Vi forventet ut fra modellberegningene en dominans av diatomeer i influensområdet for kunstig oppstrømning (ikke giftige for blåskjell), og kunne i perioder observere dette i felt.
- Målinger og modellberegninger viser at strøm og vannutskifting i betydelig grad påvirket algekonsentrasjonen og algebiomassen i fjorden.
- Med kunstig oppstrømning av dypvann

i indre del av Lysefjorden vil algekonsentrasjonene og dermed bæreevnen for blåskjell opprettholdes ved en langt større variasjon i vannutskifting (strømforhold rundt anlegget) enn under naturlige forhold.

#### Summary

For the first time it is proven that upwelling of deep water can increase the primary production in a fjord system. Artificially created upwelling of nutrition from deeper layers resulted in three times higher algal biomass in Lysefjorden. An increased and stable production of non toxic algae can result in a higher and more predictable production of blue mussel in the fjord.