



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE

Produksjon og forsøk på kostnadseffektiv konsentrering av *Skeletonema costatum*

av

106 Baumann, Aksel
103 Grinde, Ragnar
101 Havn, Jonas
121 Skogset, Sigbjørn

Production and attempts at cost-effective concentration of *Skeletonema costatum*

Fornybar Energi

FE403

01.06.2017

Avtale om elektronisk publisering i Høgskulen på Vestlandet sitt institusjonelle arkiv (Brage)

Jeg gir med dette Høgskulen på Vestlandet tillatelse til å publisere oppgaven «Produksjon og forsøk på kostandseffektiv konsentrering av *Skeletonema costatum*» i Brage hvis karakteren A eller B er oppnådd.

Jeg garanterer at jeg er opphavsperson til oppgaven, sammen med eventuelle medforfattere. Opphavsrettslig beskyttet materiale er brukt med skriftlig tillatelse.

Jeg garanterer at oppgaven ikke inneholder materiale som kan stride mot gjeldende norsk rett.

Ved gruppeinnlevering må alle i gruppa samtykke i avtalen.

Fyll inn kandidatnummer og navn og sett kryss:

106 Aksel Baumann

JA NEI

103 Ragnar Grinde

JA NEI

101 Jonas Havn

JA NEI

121 Sigbjørn Skogset

JA NEI

Innholdsliste

Innholdsliste	1
Forord	7
Sammendrag	8
Innledning	9
Generelt.....	9
Biodrivstoff	9
Alger og kostnadseffektivitet	10
Målsetninger	10
Hovedproblemstillingen	10
Avgrensninger.....	10
Teori	11
Skeletonema costatum.....	11
Høstingsmetoder	11
Fysisk separering.....	11
Kjemisk flokkulering.....	12
Auto-flokkulering	13
Bio-flokkulering.....	13
Elektroforese	14
Materiell og Metode	15
Kort beskrivelse av eksperimentet og dets lokasjon.....	15
Eksperimentets faser.....	17
Utstyrsbeskrivelser	18
CTD apparat	18
Vannprøver	19
Vannhenter.....	19
pH-meter.....	19

Termometer	20
Karene	20
Sprinkler og luftpumpe	21
Presenninger	21
Strømkilder	21
Inokulering.....	22
Kultivering	24
Næringstilsetninger	24
NPK-gjødsel – YaraMila Fullgjødsel 18-3-15 og Superba.....	24
Vannglass.....	26
Dosering	26
Næringsregime	26
Karbondioksid og lys.....	27
Sammenlignende forsøk av Superba og Fullgjødsel	28
Gjødsling.....	28
Plassering og målinger.....	28
Vannbytte	30
Konsentrering	31
Filtrering.....	31
Småskala forsøk	31
Storskala forsøk.....	33
Utfelling	35
Småskala forsøk	35
Elektroforese	35
Småskala forsøk	35
Storskala forsøk.....	38
Endelig konsentreringsmetode.....	40
Algetelling.....	42

Sedimenteringstest.....	44
Beregning av glødetap.....	45
Utstyr.....	45
Metode.....	45
Beregning av vekstrater	47
Resultat	48
Oversikt	48
Inokulering.....	49
Prøver fra inokulat og våroppblomstring i fjorden.....	49
Kultivering	52
Temperatur.....	52
pH.....	53
Oksygen	54
Salinitet.....	55
Klorofyll, algeoppblomstringer og vekstrater.....	56
Turbiditet	59
Næringstilsetninger	60
Sammenlignende forsøk av Superba og Fullgjødsel	62
CTD - data.....	62
Algetelling.....	64
Konsentrering.....	66
Filtrering.....	66
Storskala forsøk.....	67
Utfelling	67
Småskala forsøk	67
Elektroforese	67
Småskala forsøk	67
Storskala forsøk.....	71

Endelig konsentreringsmetode.....	71
Algetelling.....	74
Prøver fra karet.....	74
Prøver fra fullskala elektroforese og filtreringsvann	75
Sedimenteringstest.....	76
Beregning av glødetap.....	77
Diskusjon	78
Feilkilder	78
Generelle feilkilder	78
Andre feilkilder	78
Gjødsling.....	78
CTD-apparat	78
Vannbytte.....	78
Forsøk.....	78
Sammenlignende forsøk av Superba og Fullgjødsel	78
Filtrering.....	78
Utfelling.....	79
Elektroforeseforsøk.....	79
Endelig metode	79
Algetelling.....	79
Samlet vurdering	79
Inokulering.....	80
Prøver fra inokulat og våroppblomstring i fjorden.....	80
Kultivering	80
Klorofyll, algeoppblomstringer og vekstrater.....	80
Salinitet	82
Turbiditet	82
Oksygen	82

pH.....	83
Næringstilsetninger	83
NPK-gjødsel	83
Dosering	85
Vannglass.....	85
Karbondioksid og lys.....	85
Sammenlignende forsøk av Superba og Fullgjødsel	86
Gjødsling.....	87
CTD – data	87
Telling	88
Vannbytte	88
Konsentrering.....	90
Filtrering.....	90
Småskala forsøk.....	90
Storskala forsøk.....	90
Utfelling	91
Småskala forsøk	91
Elektroforese	91
Småskala forsøk	91
Storskala.....	92
Endelig konsentreringsmetode.....	93
Algetelling.....	94
Prøver fra karet.....	94
Prøver fra fullskala elektroforese og filtreringsvann	94
Elektroforesevann	94
Filtreringsvann.....	95
Sedimenteringstest.....	95
Beregning av glødetap.....	96

Utbytte og kostnadseffektivitet	97
Elektroforese i 1 m ³ : Energiinnhold, strømbruk og kostnader	97
Teoretisk produksjon i karet.....	98
Konklusjon	99
Litteratur.....	100
Appendix.....	103
Hoveddata	103
Forsøk.....	106
Filtrering.....	106
Småskala forsøk	106
Storskala forsøk.....	107
Utfelling	108
Småskala forsøk	108
Elektroforese	108
Småskala forsøk	108
Storskala forsøk.....	113
Endelig filtreringsmetode	114
Logg	115

Forord

Dette er en bacheloroppgave ved Høgskulen på Vestlandet, avd. Sogndal. Denne oppgaven tilsvarer 20 studiepoeng for hver av kandidatene.

Først og fremst vil vi takke Torbjørn Dale for hans engasjement. Det ble mange lange, produktive og krevende dager for å komme i mål med oppgaven, men ved hjelp av god veiledning, støtte og rådgivning, så føler vi at vi kom i mål med å besvare problemstillingen vår, selv om nye spørsmål dukket opp underveis. Torbjørn viste oss veien på en god måte, samtidig som han lot oss arbeide selvstendig. Eventuelle uklarheter, problemstillinger og forbedringspotensialer ble diskutert og oppklart på en god måte under veiledningstimen.

Vi vil også takke Peter Hovgaard og Kjartan Hovgaard ved akvakulturstasjonen på Skjer for god hjelp og støtte i forbindelse med dyrkningsprosessen av alger. Peter delte personlige erfaringer i forbindelse med algedyrking med oss, blant annet erfaringer han hadde med gjødsling. Dette var grunnen til at vi etterhvert gikk over til gjødselet Superba. Kjartan bidro i stor grad med å tilrettelegge utstyr vi måtte ha bruk for, og vi var nok litt bekymret for at vi var til litt for mye bry. Denne bekymringen ble raskt avvist og vi følte oss som hjemme etter kort tid.

Vi vil også takke Daco Mekaniske AS, i Kaupanger, som donerte en aluminiumsplate og andre aluminiumdeler til prosjektet. Dette bidro i stor grad til at vi kunne foreta en storskala elektroforese i forsøket vårt.

Takk til Sogn og Fjordane fylkeskommune for VRI-midler, som har gitt oss økonomisk støtte til innkjøp av utstyr og leie av kar.

Sammendrag

Dyrkningsprosessen av *Skeletonema costatum* ble gjennomført med Wells-Glancey metoden (ANON, 1965). Hovedmålene med oppgaven var først og fremst å forsøke å finne den mest praktiske og kostnadseffektive metoden innenfor de tids- og kostnadsrammene vi hadde, i tillegg til at vi bygget videre på erfaringen Bjørndal *et al.* 2016, hadde opparbeidet seg i forbindelse med dyrkningsprosessen.

Dyrkningsforsøket ble gjennomført i et kar med 7 m³ vann. Det ble først gjort et forsøk uten gjødsling for å se hvor høyt klorofyllverdiene kunne stige før vi fikk en kollaps i algekulturen. Kollapsen kom på 17,72 µg chl a/l, noe som i stor grad samsvarer med erfaringene i oppgaven vi bygger på (Bjørndal *et al.* 2016). Etter dette gikk vi over til å gjødsle med fullgjødsel, men vi hadde problemer med å få en betydelig oppgang i klorofyllverdiene. Vi gjorde da et forsøk med gjødseltypen Superba, noe som ble etterfulgt av en oppblomstring i algekulturen. Dette gjødslet inneholder flere typer mikronæring, deriblant jern. Forsøkene vi gjorde indikerer at veksten i startfasen kan ha uteblitt på grunn av mangel på mikronæringsstoffer. Det må fortsatt flere tester til for å se om resultatet kan gjenskapes, men vi har ikke lyktes i å finne andre faktorer som skulle tilsi oppblomstringen etter at Superba ble introdusert.

Av de konsentreringsmetodene vi forsøkte, var det elektroforese som pekte seg ut som den mest praktisk gjennomførbare og kostandseffektive metoden innenfor våre rammer. Etter 1 time med elektrolyse innstilt på relativt svak strømstyrke i et kar med 1 m³ vann, lyktes vi med å få majoriteten av algene til å flyte til overflaten slik at de kunne øses over i et filtersystem bestående av 20 µm og 125 µm filterduker. Dette var for å avvanne algene ytterligere samtidig som så mye alger som mulig skulle bli liggende igjen i filterdukene.

Selve prosessen med avvanning i filterdukene var noe tidkrevende på grunn av tilstopping av alger, og kan antageligvis forbedres. Resultatet etter elektroforesen og avvanningen i filterduker var 553,4 g våtvekt på de konsentrerte algene.

Effektiviteten av elektroforesen var på ca 86,5 % med bruk av en energimengde på 3,1 wattimer per gram alger i tørrvekt.

Innledning

Generelt

Siden den industrielle revolusjon på 1800-tallet har atmosfærens gjennomsnittlige temperatur økt med nær en 1 °C (Pachauri *et al.*, 2014). Klimaforskere er enige om at denne økningen skyldes menneskelig aktivitet, hvor avskoging og forbrenning av fossilt brennstoff som for eksempel olje og gass har mye av skylden. Dette fører til utslipp av drivhusgasser som CO₂ i atmosfæren, som hindrer at noe av den innkommende solstrålingen reflekteres tilbake ut i verdensrommet. Global oppvarming, økningen av gjennomsnittlig hav- og lufttemperatur på ett globalt nivå har mange negative konsekvenser, som blant annet ekstremvær, stigende havnivå, tap av dyrkbar mark for matproduksjon og reduserte livsbetingelser for mange dyr og planter (Pachauri *et al.*, 2014). Gjennom Parisavtalen som trådte i kraft i 2016, har store deler av verden forpliktet seg til å kutte klimagassutslippene i et forsøk på å hindre at den globale temperaturstigningen ikke øker med mer enn 2 °C, men helst under 1,5 °C, innen 2100, sammenlignet med 1850.

Biodrivstoff

I lys av dette har man i senere tid prøvd å redusere forbruket av fossilt drivstoff, blant annet ved å finne alternative energikilder som har mindre negative virkningene på klimaet. Globalt bidrar transportsektoren i følge IPCC med 14% av alle utslipp av drivhusgasser og 95 % av drivstoffet som brukes er fossile brennstoff (Edenhofer *et al.*, 2014; Ribeiro *et al.*, 2007). I tillegg til klimautfordringene vil mange av verdens oljereserver gå tomme i løpet av dette århundret. Dette tvinger oss til å finne nye løsninger når det gjelder framtidens drivstoff. Mye kan drives av elektrisitet, men det vil fremdeles være behov for et flytende, brennbart alternativ som kan brukes i tungtransport, tankskip og fly. Biodrivstoff er en av disse, og kan være ett raskt oppnåelig, tilnærmet karbon-nøytralt alternativ. Tilgang på alternative rene drivstofftyper vil i stor grad kunne være med på å erstatte og redusere utslipp.

Flere metoder og planter kan brukes for å produsere biodrivstoff, hvor noen metoder er mer kontroversielle enn andre. En av de mest kontroversielle er første generasjons biodrivstoff hvor man bruker blant annet raps, palmeolje og soyabønner. Dette legger beslag på matjord og i tillegg er det en risiko for avskoging for å frigi nye områder for dyrking. Ettersom matmangel er et økende globalt problem blir ikke dette sett på som et bærekraftig alternativ. Dette er en av grunnene til økt fokus på framstilling av mikroalger som kilde, fordi det kan dyrkes i sjøen eller på landarealer som ikke er egnet for jordbruk, og dermed ikke beslaglegger jordbruksareal som kan brukes til matproduksjon (Ziolkowska & Simon, 2014).

Alger og kostnadseffektivitet

Alger har også mange fordeler i forhold til kjente biodrivstoffkilder. Det vokser fortere og gir et langt høyere energiinnhold per kvadratmeter sammenlignet med landbaserte planter (Ziolkowska & Simon, 2014). I tillegg kan det potensielt brukes i forbindelse med annen virksomhet som for eksempel rensing av avløpsvann og fiskeoppdrettsanlegg. Algedyrking for biodrivstoff er forholdsvis nytt og man har ikke kommet helt i mål med tanke på kostnadseffektivitet. For at biodrivstoff produsert av mikroalger skal kunne bli en konkurransedyktig næring, er det viktig å tilegne seg kunnskap som kan bidra til å holde kostnadene ved produksjonen så lav som mulig. I oppgaven vår skal vi dyrke mikroalger basert på erfaringene i bacheloroppgaven «Development of a method for cultivating and monitoring the growth of *Skeletonema costatum*» (Bjørndal *et al.*, 2016). Vi skal forsøke å forbedre produksjonsmetoden, men vårt hovedfokus vil være på den delen av prosessen som går på konsentrering av biomassen når den er klar til å høstes. Vi vil her gjennomføre forsøk av forskjellige metoder for konsentrering og vurdere hvilket av de som er mest anvendelige. Resultatene vil bli brukt til å vurdere hva som er den mest kostnadseffektive og praktisk gjennomførbare metoden for å konsentrere biomassen innenfor våre rammer.

Målsetninger

Målsetningen for denne bacheloroppgaven er å utforske forskjellige metoder for å konsentrere marin biomasse av mikroalger, med mål om å finne den mest kostnadseffektive og praktisk gjennomførbare metoden for vårt bruk. Hvis vi finner en god metode vil det kunne bidra til økt lønnsomhet i produksjonen og vil være med på å gjøre satsingen på algebasert biodrivstoff mer attraktiv.

Sekundært vil vi prøve å bygge videre på og forbedre dyrkningsmetoden som ble brukt i bacheloroppgaven Bjørndal *et al.* (2016).

Hovedproblemstillingen

Kan *Skeletonema costatum* konsentreres på en kostnadseffektiv måte?

Avgrensninger

Vi har valgt å begrense oppgaven til metoder som er gjennomførbare innenfor de tids- og kostnadsrammer som vi har til rådighet i prosjektperioden.

Teori

Skeletonema costatum

Dette er en mikroskopisk, planktonisk kiselalge med vid utbredelse i kystvann som kan opptre i store mengder til ulike tider av året, og dette er den vanligste kiselalgen langs Norskekysten (Thronsen, 2009). Diameteren på hver enkelt celle varierer fra 2 – 21 µm og lengden på hver enkelt celle varierer fra 2 – 61 µm (EOAS, 2012). *S. costatum* vokser i kjeder bestående av flere celler.

Høstingsmetoder

For at man skal kunne anvende mikroalger til biodrivstoff må mikroalgekulturen konsentreres og avvannes, fordi alger vokser i vann på en konsentrasjon mellom 0.1-0.2 g med tørket biomasse per liter (Danquah *et al.*, 2009; Molina Grima *et al.*, 2003, referert i Al Hattab *et al.*, 2015). Avvanning av alger står for 20-30 % av den totale kostnaden assosiert med mikroalgeproduksjon og prosessering (Molina Grima *et al.*, 2003; Zitelli *et al.*, 2006, referert i Al Hattab *et al.*, 2015). Ulike høstingsmetoder kan brukes for å konsentrere algekulturen til 10-450 g/L (Al Hattab *et al.*, 2015). Noen av de ulike høstingsmetodene som kan brukes til å gjøre dette på vil bli beskrevet nedenfor med kostnadseffektivitet som utgangspunkt. Så derfor vil effektivitet, kostnad og hvor tidkrevende metodene er bli lagt vekt på.

Fysisk separering

Det finnes flere fysiske høstingsmetoder som ved hjelp av sedimentering, filtrering, sentrifugering, flotasjon og ultrasonisk lyd kan konsentrere biomassene. Ved bruk av sedimentering utnytter man tetthetsforskjellen mellom mikroalger og vannet mikroalgene vokser i. Siden mikroalger har en høyere tetthet enn vann vil mikroalgene på grunn av gravitasjon kunne synke ned til bunnen av konteineren de vokser i. Forskjellige marine mikroalger varierer i tetthet fra 1030 til 1100 kg/m³ (Al Hattab *et al.*, 2015). Granados *et al.* (2012) referert i Al Hattab *et al.* (2015) rapporterte at saltvann har en tetthet på 1025 kg/m³, som er nesten lik tettheten til mikroalger og derfor vil sedimentasjonsraten av algene være lav. *Skeletonema costatum* synker gjennomsnittlig 0,43 m/dag (Colijn *et al.*, 2003). Kostnaden assosiert med sedimentering er lav, men påliteligheten til denne metoden er liten (Al Hattab *et al.*, 2015).

Filtrering fungerer ved at man bruker et permeabelt medium som har porer så små at mikroalgene ikke kan trenge gjennom, men likevel så store at vann kan trenge gjennom. Det er vanligvis gravitasjonen som driver dette. Det finnes flere filtreringsmetoder med ulike filtreringsmedium som vakuumfiltrering, trykkfiltrering og kryssflytfiltrering. Filtrering med gravitasjon er tidkrevende, men filtreringsmetoder som anvender trykk eller vakuum kan forskynde prosessen (Al Hattab *et al.*, 2015). Filtrering har den ulempe ved at filtreringsmedium må enten skiftes ut eller renses ofte (Al Hattab *et al.*, 2015). Kostnadene ved filtrering varierer fra \$10/gal til \$20/gal (Al Hattab *et al.*, 2015). Og effektiviteten varierer fra 20 % til 90 % avhengig av hvilken metode som blir brukt. (Green, 2008, referert i Al Hattab *et al.*, 2015).

Ved sentrifugering vil sentrifugalkraften slynge algene med høyere tetthet ifra vannet med lavere tetthet. Det finnes to ulike sentrifugemetoder som diskstabelsentrifuge og karaffelsentrifuge. Begge metodene kan være kostbare ved tanke på innkjøp av utstyr (Al Hattab *et al.*, 2015). Sentrifugering kan bruke fra 0,53 kWh/m³ til 8,0 kWh/m³ avhengig av type sentrifugering (Al Hattab *et al.*, 2015). Avhengig av hvilken type sentrifugering man bruker og hvor mye kraft som blir brukt varierer effekten fra 28,5 % til 95 % (Al Hattab *et al.*, 2015).

Flotasjon er en metode som får algene til å flyte opp til vannoverflaten ved å introdusere luftbobler til algekulturen. Luftboblene blir produsert i bunnen av konteineren og i det de stiger opp binder de seg til algene og tar dem med seg videre opp til overflaten. Det finnes fire typer flotasjonsmetoder. Dispergert luftflotasjon, oppløst luftflotasjon, flotasjon ved bruk av mikrobobler og elektrolytisk flotasjon. Flotasjon har en effektivitet fra 93 % til 99,2 % avhengig av hvilken type flotasjonsmetode som blir anvendt, og om det brukes i kombinasjon med et flokkuleringsmiddel (Al Hattab *et al.*, 2015). Tiden det tok for å oppnå en effektiv flotasjon var 3-10 min og kostnadene ved flotasjon ble rapportert til å være like høye som eller høyere enn ved bruk av sentrifugeringsmetodene (Al Hattab *et al.*, 2015).

Ultrasonisk lyd fungerer ved at man bruker høyfrekvent lyd til å melke eller å knuse mikroalgene for olje. Oljen flyter opp på grunn av sin lavere tetthet enn vann og avhengig av om algen er intakt eller ikke så synker den ned. Coons *et al.* (2014) rapporterte at ultrasonisk lyd hadde en effektivitet på 70 % ved et energiforbruk på 14,5 kWh/m³ og en teoretisk sedimenteringshastighet på 0,4 µm/s.

Kjemisk flokkulering

Det finnes to forskjellige kjemiske høstingsmetoder. Den ene er ved bruk av uorganiske flokkuleringsmidler og den andre er ved bruk av organiske flokkuleringsmidler. Vanligvis brukes

kationiske, anioniske eller ikke-inoiske polyelektrolytter til flokkulering av mikro-algeceller (Al Hattab et al., 2015). Flokkuleringsmidlene får algene til å flokkulere enten ved hjelp av dipol-dipolbindinger, hydrogenbindinger, Coulomb-krefter eller van der Waalske krefter, og dermed synker algene ned i flokker på bunnen av kontaineren på grunn av økt tetthet av konsentratet (Al Hattab et al., 2015). Kjemisk flokkulering anses som å være den beste metoden for å høste mikroalger fordi den kan brukes på store mengder alger på en gang, på mange forskjellige arter, og metoden er pålitelig, fordi metoden er kostnadseffektiv (Al Hattab et al., 2015). Al Hattab et al. (2015) rapporterte at metoden bruker avhengig av forholdene alt fra 10 til 20 min med en effektivitet fra 52 % til 100 %. Det har vært brukt 50 – 300 mg/l uorganiske flokkuleringsmidler og 2 – 25 mg/l organiske flokkuleringsmidler, men det var også rapportert at det trengtes 5 – 10 ganger så mye organiske flokkuleringsmidler ved høsting av marine mikroalger i forhold til ferskvannsmikroalger (Al Hattab et al., 2015).

Auto-flokkulering

Dette er en høstingsmetode der man utnytter at enkelte typer mikroalger har evnen til å flokkulere av seg selv når de blir utsatt for ulike typer stress. Dette kan være abnormale pH-verdier og/eller konsentrasjoner av nitrogen, oppløst oksygen, kalsiumioner og/eller magnesiumioner (Al Hattab et al., 2015). Autoflokkulering kan ta mer eller mindre enn 8 timer (Al Hattab et al., 2015). Effektiviteten varierer fra 13 % til 96 % (Al Hattab et al., 2015). Autoflokkulering kan inntreffe ved en pH på 8 og oppover eller ved konsentrasjoner av oksygen på 14-16 mg/l, nitrogen på 840,4 mg/l eller Ca^{2+} og Mg^{2+} på 120 mg/l og 1000 mg/l (Al Hattab et al., 2015).

Bio-flokkulering

Denne metoden fungerer ved at man introduserer sopp, alger eller bakterier til algekulturen. Mikroorganismene fester seg til algene så de flokkulerer, blir tyngre og synker ned til bunnen av kontaineren (Al Hattab et al., 2015). Bioflokkuleringsmidlene er artsselektive så avhengig av arten varierer effektiviteten fra 38 % til 98 % (Al Hattab et al., 2015). *Skeletonema*, som er autoflokkulerende, har blitt brukt til å flokkulere *Nannochloropsis* sp. (Schenk et al., 2010).

Elektroforese

Det er noe uenighet angående kategoriseringen av elektroforesemetodene (Coons *et al.*, 2014), men vi velger å fortsette å kategorisere metodene på samme viset som Al Hattab *et al.* (2015) har gjort. Elektroforesemetodene fordeles da inn i elektrolytisk koagulasjon, elektrolytisk flokkulering og elektrolytisk flotering. Elektroforese bruker fra 0,2 til 2,1 wattimer per kilogram algemasse i tørrvekt (Al Hattab *et al.*, 2015). Ved elektrolytisk koagulasjon, der elektrodene er av aktive metaller, vil anoden felle ut metalliske ioner som binder seg til hydroksydene katoden feller ut. Dette danner metallhydroksyder som får algene til å koagulere og danne flokker. Mikroboblene med oksygen og hydrogen som blir produsert av elektrolysen stiger opp, kolliderer med flokkene og tar de med opp til overflaten. Det har vært rapportert ulike resultater ved elektrokoagulering, men en effektivitet på 99 % ved høsting av bakterien *Escherichia coli* på 20 min ved bruk av en aluminiumelektrode med et strømforbruk på 12 W har blitt rapportert (Al Hattab *et al.*, 2015). Elektrodene står for 50 – 80 % av kostnadene ved elektrokoagulering (Dassey & Theegala, 2014). Avvanning av alger ved bruk av elektrokoagulering bruker fra 0,8 til 1,5 Wh/g (Al Hattab *et al.*, 2015).

Elektrolytisk flokkulering fungerer ved at alger mister sin negative ladning når de treffer anoden, siden anoden er positivt ladet og vil tiltrekke til seg algene. Når algene har mistet sin negative ladning flokkulerer algene og de blir løftet opp til overflaten av hydrogenet og oksygenet som blir produsert i elektrolysen. Det har blitt rapportert en effektivitet på 95 % etter 60 min elektrolytisk flokkulering med en spenning på 5,2 V (Al Hattab *et al.*, 2015).

Elektrolytisk flotasjon fungerer nesten på samme viset som elektrolytisk koagulasjon, bare at katoden består ikke av et aktivt metall som utvinner hydroksyder, men metallionene som felles ut av anoden er positivt ladet og binder seg til algene som er negativt ladet (Al Hattab *et al.*, 2015). Dette får algene til å flokkulere, sånn at luftboblene som elektrolysen lager kan bringe flokkene opp til overflaten. Det er blitt rapportert at elektrolytisk flotasjon bruker 140 min på å oppnå en effektivitet på 90 min med en effekt på 60 W (Al Hattab *et al.*, 2015).

Materiell og Metode

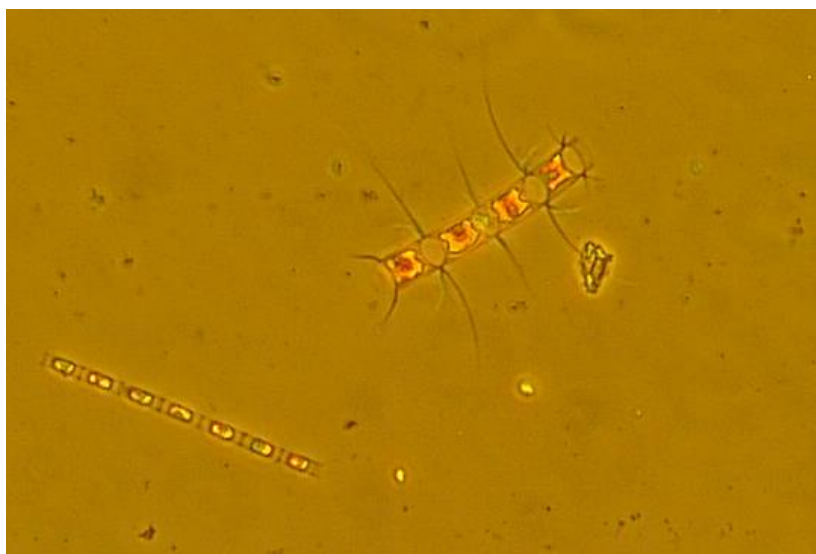
Om ikke annet er referert i figurteksten, så er bildene i denne oppgaven tatt av dens forfattere.

Opgitt karvolum, gjødslingsdoser og forventete vekstrater er basert på-, og hentet fra, utregninger i fjorårets bacheloroppgave (Bjørndal *et al.*, 2016). Videre er eksperimentets to første faser, og datainnsamlingsmetoder også en videreutvikling av metoden presentert i Bjørndal *et al.* (2016).

Kort beskrivelse av eksperimentet og dets lokasjon

Skeletonema costatum (figur 1) ble i dette eksperimentet dyrket frem ved bruk av Wells-Glancy metoden (ANON, 1965).

Mikroalger ble høstet fra 0-10 meters dyp i Sogndalsfjorden, og tilsatt i et 7 m³ kar (figur 2), med saltvann pumpet opp fra 100 meters dyp. Kulturen fikk fra begynnelsen av en konstant lufttilførsel fra en sprinkler plassert i midten på bunnen av karet. Eksperimentet bestod ellers av tre faser; kultivering uten, og med, gjødsling, samt innhøsting og konsentrering av algene.

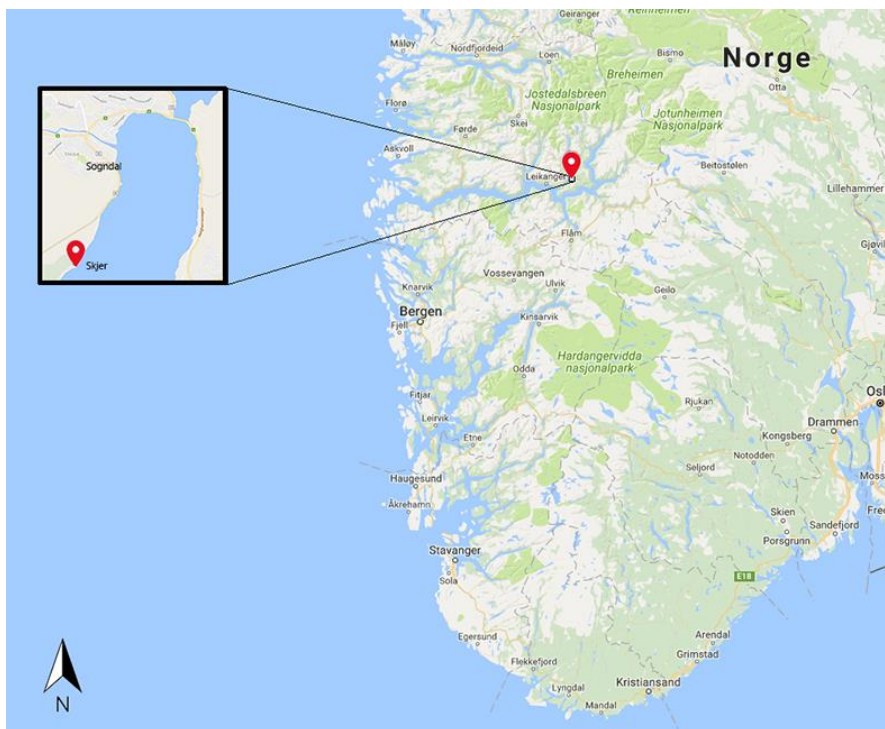


Figur 1: *Skeletonema costatum* (t.v.) og *Chaetoceros* spp. (t.h). Prøve P-12, 04.03.17.

Eksperimentet varte fra 28. februar til 22. april 2017, og fant sted på akvakulturstasjonen på Skjer, sør for Sogndal sentrum (figur 3). Stasjonen brukes til oppdrett av rognkjeks, og hadde derfor mye utstyr som var til stor hjelp ved utførelsen av prosjektet, som blant annet pumper, slanger, kar, elektroniske vekter, mikroskop, bøtter, krukker og mer.



Figur 2: Karets lokasjon, foran hovedbygget på Skjer, med lufttilførsel senket ned til bunnen i midten av karet.

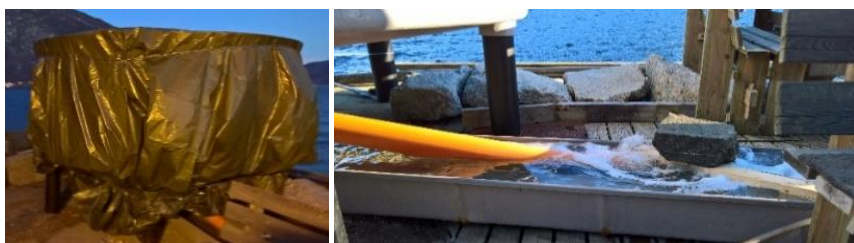


Figur 3: Lokasjonen av Skjer Akvakulturstasjon i Sogndal kommune, Sogn og Fjordane, Norge.

Eksperimentets faser

Eksperimentet var delt inn i tre hovedfaser. Fase én bestod av en 23-dagers vekstperiode (28.02.17-22.03.17), basert på Wells-Glancy metoden, med lufttilførsel for sirkulasjon og CO₂-tilførsel. I fase to (23.03.17-05.04.17) startet vi gjødslingen av algekulturen, for å øke næringsinnholdet i vannet, og bidra til økt produksjon. Fase tre (28.03.17-06.04.17) var høstingsfasen, hvor det ble eksperimentert med forskjellige små- og storskala høstingsmetoder, og var noe overlappende med fase to.

I den første fasen skulle *S. costatum* isoleres, og algekulturen stabiliseres, uten annen hjelp enn konstant lufttilførsel og vannbytte når kulturen kollapset, eller var nær ved å kollapse. Vi ville reddykke *S. costatum* mest mulig, samt finne krisepunktet der kulturen ville kollapse uten tilførsel av nye næringsstoffer. Under denne fasen var det ofte minusgrader om natten, som gjorde det nødvendig med hyppig vannbytte og bruk av presenning for å holde algekulturen i live (figur 4).



Figur 4: Dobbelt lag med presenning (t.v.), samt vannbytte (t.h.), var nødvendig under den første fasen.

I den andre fasen ble kulturen tilsatt gjødsling nesten hver dag, der meningen var å finne ut hvor mye kulturen kunne utvikle seg før veksten stagnerte. Gjødslingen i denne fasen var basert på doseringsutregningene fra fjorårets bacheloroppgave (Bjørndal *et al.*, 2016). Det ble først brukt en kombinasjon av *vannglass* og *Fullgjødsel*. Eksperimentering med gjødslingsmetoder var nødvendig for å oppnå en ønskelig klorofyllkonsentrasjon før høstingsfasen på grunn av gjentatt stagnasjon av algekulturen. Fullgjødselen ble derfor etter hvert kombinert med, og til slutt erstattet av, *Superba*. 28.03.17 forsvant tilgangen på vann fra 100-meters dyp, og vannbytte ble fra da av gjort med 50-meters vann. Vannet fra 50 meter har lavere næringsinnhold enn vannet på 100 meter (Dale & Hovgaard, 1993). Dette gikk sannsynligvis utover veksthastigheten til algekulturen, og 01.04.17 ble det først eksperimentert med *Superba* i gjødslingsprosessen.

I den tredje fasen ble det gjort flere forsøk der vi prøvde ut forskjellige høstingsmetoder, i både små- og storskala. Her var utfordringen å finne filtreringsmetoder som gav mest mulig konsentrert algemasse på kortest mulig tid, til en gunstig pris.

Utstørsbeskrivelser

Det ble brukt en rekke utstyr, og instrumenter for standardiserte målinger, gjennom hele eksperimentet. De viktigste målingene ble gjort med CTD-apparat, vannprøver, pH-meter og termometer. Algekulturen ble kultivert og konsentrert i to store kar og det ble eksperimentert med ulike strømforsyning til elektroforese.

CTD apparat



Figur 5. CTD apparat.

Et CTD (*conductivity, temperature and depth*) apparat (figur 5) tar målinger av ledningsevnen, temperaturen og dybden i vannet rundt den, som den så bruker til å kalkulere saltholdigheten (*salinity*) i vannet. Målingene i dette eksperimentet ble tatt med en CTD-måler av typen SAIV SD 204, med ytterligere sensorer for oksygen (mg/l), fluorescens (μg klorofyll a l^{-1}) og turbiditet (FTU).

Oksygenmengden måles for å kontrollere at det er en optimal balanse mellom fotosyntesen og respirasjonen til organismene i vannet, og er en indikator på hvor mye fotosyntese som foregår. Fluorescensmålingene oversettes direkte til klorofyllnivået i vannet, i $\mu\text{g l}^{-1}$, og er en indikator på algekulturens bestandstørrelse. Turbiditetssensoren måler lysspredningen i vannet, og indikerer da partikkeltettheten i vannet, som kan bestå av blant annet alger, oppvirvlet bunnfall og annet rusk som måtte være i vannet.

CTD-apparatet var innstilt på å ta målinger hvert andre sekund. CTD-målingene i hovedkaret ble tatt ved å senke maskinen i vannet og holde den ved to ulike vanddybder, på omtrent 20 cm og i bunnen av karet, i en periode på omtrent 30 sekunder hver. Ettersom maskinen registrerte data hvert andre sekund, ville dette gi minimum 15 målinger, og vi fikk da minst 30 datasett per måling. Noen feilmålinger kan oppstå ved at rusk eller bobler fester seg i sensorene, eller ved at instrumentet havner i store «flak» med alger som vil gi data som ikke stemmer med gjennomsnittet i tanken. Flere sett gir et mer reelt gjennomsnitt enn færre.

Det ble gjennomført jevnlig målinger, hovedsakelig om ettermiddagen mellom kl 15:00 og 16:00, med unntak av ytterligere målinger tatt før og etter vannbyttene. Alle målingene ble overført til et Microsoft Excel datasett, som ble brukt til å sammenligne resultatene dag for dag (appendix, tabell 27), og prosessert til å lage tabeller og grafer for denne oppgaven.

Vannprøver



Figur 6: Vannprøveflasker

Det ble regelmessig tatt vannprøver av karvannet gjennom eksperimentet (figur 6) til bruk i algetellinger. Vannprøvene ble tatt samtidig som pH- og CTD-målinger, og ble gjort for å kunne følge utviklingen av algekulturen i etterkant. Det ble fra første dag tatt vannprøver av sjøvann fra 0-25 meters dyp, for å kunne sammenligne det med utviklingen i karet; prøver av inokuleringsbøttene og vannet i karet både før og etter inokulering. Det ble videre tatt ekstra vannprøver i forbindelse med ulike forsøk, i de tilfeller det kunne være interessant å studere de i etterkant for å se effekten av forsøket.

Hensikten med vannprøvene var å undersøke de under mikroskop og gjennomføre en telling av ulike algetyper som var tilstede i karet ved ulike tidspunkt. Disse dataene kunne så skape et bilde av den gradvise isolasjonen av *S. costatum*. Vannprøvene ble samlet inn i små brune 100 ml flasker, hvor 1 ml fikseringsmiddel av Lugols jod ble tilsatt for å drepe de og stoppe nedbrytningen. Ved bruk av fikseringsmiddel får man bevart algene akkurat slik de var på det tidspunktet man tok vannprøvene. Vannprøvene ble så lagret i kjøleskap, med en temperatur på 4 °C, på høyskolens biologi-lab.

Vannhenter



Figur 7: Ruttner vannhenter.

En Ruttner vannhenter (figur 7) ble brukt til å hente vannprøver i fjorden fra på 0 – 25 meters dyp. Hensikten var å undersøke algesammensetningen ved ulike vanndybder og sammenligne resultatene fra de ulike prøvene, med vannprøver fra vår algekultur.

pH-meter



Figur 8: PH målinger tatt med et pH-meter.

Ett pH-meter (figur 8) ble brukt til å måle pH gjennom hele eksperimentet. Det ble tatt pH målinger av sjøvann fra 0-25 meters dyp, for å kunne sammenligne det med utviklingen i karet; av tilførselsvannet fra 100-meters dyp; og av vannet i karet før og etter tilsetting av inokuleringsprøvene. Videre ble det tatt faste målinger av vannet fra karet samtidig med de jevnlige CTD-målingene og vannprøvene. PH-målingene ble tatt for å kontrollere nivået i vannet, og for å få en pekepinn på mengden fotosyntese i karet, da en høy pH-verdi tilsier at det foregår en økt mengde fotosyntese i vannet.

Termometer

Sammen med de andre jevnlige målingene ble det tatt faste temperaturmålinger med en vanlig termometer i vannoverflaten til karet. Temperaturmålingene ble tatt gjennom hele eksperimentet, og ble gjort for å følge temperaturen i vannet under de skiftende værforholdene i overgangen fra vinter til vår.

I startsfasen var det viktig å hindre at vannet ikke havnet under $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, som er frysepunktet til saltvann, for å unngå fullstendig kollaps av algekulturen. De manuelle temperaturmålingene, samt værdata fra *Storm.no* og *Yr.no* ble brukt til å fastsette behovet for bruk av presenning og vannbytte i karet. Et vannbytte ville bringe med seg varmere vann fra 100-meters dyp, mens presenning over toppen, og rundt, karet hjalp vannet å holde på varmen gjennom natten, ved å begrense varmetap fra vannet til omgivelsene og den kalde vinterluften utenfor karet.

Karene

Det ble tatt i bruk to store kar i løpet av eksperimentet. Ett hovedkar på 7 m^3 , for kultivering av algekulturen, og et mindre elektroforesekar på 1 m^3 , til forsøk på konservering av algene. (figur 9)



Figur 9: Hovedkarets plassering på bryggen på Skjer, dets ben og bunnventil, og Elektroforesekaret stilt ved siden av.

Hovedkaret utlånt til prosjektet var av glassfiber og formet som en sedimentasjonstank med konisk bunn, og ventil i bunnen av konen. Det stod plassert ved bryggen på Skjer, rett ved hovedbygget. Det sto på fem ben som hevet det fra bakken, og gjorde det enkelt å tappe ut vann via ventilen i bunn når



Figur 10: Vannstandsmåling med pinne markert hver 10 cm, til 120 cm.

det var behov for det. Terrenget ved bryggen var noe ujevnt, men høydeforskjellene mellom terrenget karets ben sto på var allerede kompensert med flere skiferplater og planker. Ettersom det fremdeles kunne være noe ujevnt ble alle målinger der vannhøyde var en faktor (vannstand- og CTD-målinger) tatt på samme sted. (figur 10)

Elektroforesekaret var av tilsvarende type, men mindre, smalere og uten en ventil i bunn. Istedenfor hadde den et hevet avtagbart utløpsrør i midten av karet. Dette røret gikk opp til litt under karets kant, slik at en eventuell overrenning av vannet ville skje gjennom røret istedenfor langs kanten av karet. Om røret fjernes renner alt vannet ut en sluk i bunnen av karet.

Sprinkler og luftpumpe



Figur 11: Luftpumpen

I den første perioden av kultiveringen var lufting det eneste eksterne tiltaket som ble gjort for å bidra til algeproduksjonen. Dette ble gjort ved å senke en sprinkler ned i bunnen av karet, som var koblet til en luftpumpe med en effekt på 90 kW (figur 11).

Sprinkleren tilførte oksygen og karbondioksid til vannet, i tillegg til å gi nødvendig sirkulasjon i vannmassene, noe som var viktig for å sikre lystilgang for alle algene, og for å hindre sedimentering. Hovedkaret fikk lufttilførsel gjennom hele eksperimentet. Det ble bare avbrutt i forbindelse med CTD-målinger, da luftbobler kan påvirke sensorene til apparatet og gi misvisende resultater.

Presenninger

To presenninger, på 90 g/m^2 og 120 g/m^2 , ble brukt til å begrense varmetap fra karet på de kaldeste nettene (figur 4). Den minste dekket litt mer enn overflaten, mens den største dekket godt over sidene av karet. De ble festet med tau rundt karets langside og holdt på plass med vannkanner, festet langs karets ben.

Strømkilder

I konsentreringsdelen av eksperimentet ble det blant annet utført en rekke forsøk på elektroforese. Disse forsøkene benyttet to forskjellige strømkilder. Et 12 volt (V) 9 ampere (A) mopedbatteri, og en strømforsyning med justerbar volt- og amperestyrke (figur 12). Strømforsyningen er en digital variabel likestrøm (DC) labstrømforsyning som går fra 0 til 5 ampere (A) og 0 - 32 volt (V). den har 1 milliampere og 0.1 volt nøyaktighet.



Figur 12: Mopedbatteri (t.v.) og Strømforsyning (t.h)

Inokulering

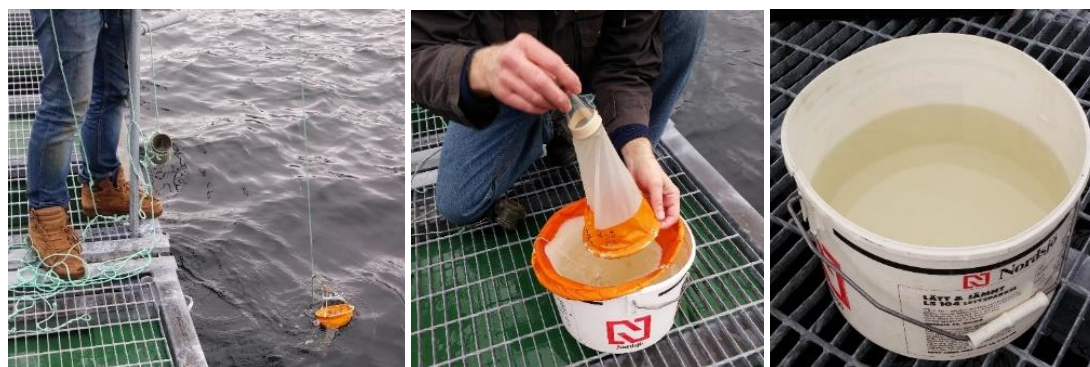
Eksperimentets første dag var 28.02.17.

Det ble tatt vannprøver og pH-målinger av sjøvann, hentet med en Ruttner vannhenter, på 0-, 2-, 6-, 10- og 25-meters dyp. Siktedypet i fjorden ble målt med en secchiskive, og det ble tatt en CTD måling ytterst på merdanlegget ved akvakulturstasjonen, fra 0-30 meters dybde.

Algeinnsamlingen foregikk så på samme sted, ytterst på merdanlegget (tabell 1). Først ble det samlet inn sjøvann i to bøtter (algekonsentrat #1 og #2). Algene ble så samlet fra 0-10 meters dyp i fjorden, ved å senke en håv med maskevidde på 25 μm opp og ned gjentatte ganger. Innholdet i denne håven ble så tømt ned i bøttene gjennom en 250 μm filter håv, for å redusere mengden av dyreplankton i de endelige algekonsentratene. Prosessen ble gjentatt tre ganger per bølge (figur 13).

Tabell 1: Innsamlingsprosess for mikroalger (per algekonsentratbølge)

Runde	Innsamlingsprosess fra 0-10-meters dyp, gjentatt per algekonsentratbølge.
1	Senke, og heve 25 μm filter håv 5 ganger. Filtrering gjennom 250 μm håv
2	Senke, og heve 25 μm filter håv 8 ganger. Filtrering gjennom 250 μm håv
3	Senke, og heve 25 μm filter håv 5 ganger. Filtrering gjennom 250 μm håv



Figur 13: Algeprøver samlet i en 25 μm håv, filtrert gjennom en 250 μm håv ned i inokuleringsbølten.

Samtidig som algeinnsamlingen foregikk, ble karet rengjort og fylt med vann fra 100-meters dyp, filtrert gjennom en 250 μm filter håv festet foran utløpet til vannslangen. Dette ble gjort for å minimere tilførsel av dyreplankton. Håven ble ikke festet før vannstanden allerede var 10 % oppfylt, som tilsvarer 10 cm, ettersom det ikke var planlagt på forhånd (figur 14).



Figur 14: Fylling av hovedkaret, 250 μm håv festet til slangen og inokuleringen av Algekonsentrat #2 i karet.

Da karet var halvfullt med en vannstand på 0,5 m, ble innholdet i bøtten *Algekonsentrat #1* tilsatt i karet (figur 14), og etter karet var fylt opp til en vannstand på 1,0 m, ble innholdet i bøtten *Algekonsentrat #2* tilsatt i karet. Deretter ble sprinkleren, tilkoblet luftpumpen, plassert i bunnen av karet. Inokulasjonsprosessen var da ferdig, og eksperimentets første fase kunne begynne.

Det ble tatt vannprøver og CTD-målinger i karet før og etter tilsettingen av algekonsentratbøttene (figur 15), samt vannprøver av begge bøttene før uthelling. Vannprøvene ble undersøkt under mikroskop, og viste at det hadde blitt samlet inn blant annet *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros spp.* og *Thalassionema spp.* (figur 15).



Figur 15: CTD måling i bunnen av karet, og mikroskopbilde av *Skeletonema Costatum*, fra inokuleringskulturen, som vist på skjerm. Bilde tatt 28.02.17.

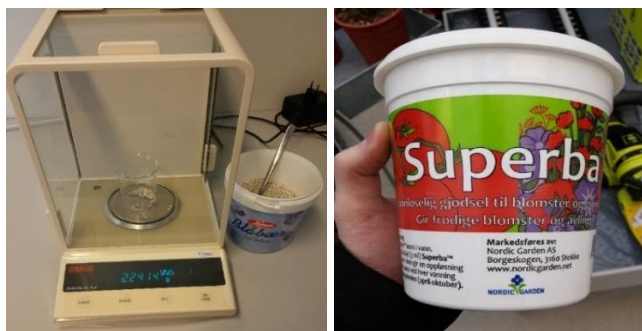
Kultivering

Næringstilsetninger

NPK-gjødsel – YaraMila Fullgjødsel 18-3-15 og Superba

To forskjellige typer NPK- gjødsel ble brukt i dette forsøket, YaraMila Fullgjødsel 18-3-15 og Superba (NKP 22-12-12 + mikronæring).

Den forhåndsbestemte mengden gjødsel som skulle tilsettes kulturen ble målt opp på elektronisk vekt (figur 16), av typen OHAUS Analytical Plus. Etter veiing ble dette helt i en plastflaske sammen med 1 liter varmt vann fra springen. Flasken ble så ristet grundig fram til at det ikke var synlige korn igjen på bunnen i flasken. Fullgjødsel blir levert i granulert form, som vil si små kuler av varierende størrelse. Vi oppdaget fort at det krevdes iherdig risting for å løse opp alle kulene, så derfor kvernet vi etterhvert opp fullgjødsel i en blender før veiing, både for å gjøre det lettere å løse opp og enklere å veie opp nøyaktige mengder. Superba blir levert i pulverform og ble derfor ikke kvernet opp. Etter utblanding var utført ble innholdet tømt i karet.



Figur 16: Veiing av fullgjødsel (t.v.) og Superba i originalemballasje (t.h.)

Peter Hovgaard ved Skjær akvakultur har erfaring med kultivering av alger, og tipset oss om at gjødseltypen rød Superba fungerer godt på *S. costatum*. Siden vi var uvitende om at Yara har byttet handelsnavn på «Rød Supera» til «Kristalon indigo», klarte vi ikke å oppdrive Rød Superba. Istedet gikk vi til innkjøp av det nærmeste vi fant, typen «Superba» levert av Nordic Garden kjøpt på Felleskjøpet i Sogndal (figur 16).

Tabell 2 viser en sammenligning av deklart stoffinnhold i Superba mot fullgjødsel 18-3-5 og Kristal Indigo (Yara Norge AS, 2014). Kristal Indigo er kun tatt med i tabellen for å se på forskjellen mellom den og Superba, det ble ikke gjødslet med Kristal Indigo. Tabellen viser at Superba inneholder en rekke sporstoffer som Fullgjødsel ikke har, blant annet jern. I tillegg har Superba større mengder av de sportstoffene som begge typene inneholdt. I Fullgjødsel er den prosentvise vekten av nitrogen 18 % og fosfor 3 %, mens i Superba er den 14 % og 4 %, som betyr at det er relativt til nitrgoen, mer fosfor i Superba. YaraMila Fullgjødsel inneholder 10,6 % klor i motsetning til Superba som har 0 %.

Tabell 2: Deklarert stoffinnhold i KRISTALON Indigo i tillegg til de to typene gjødsel som ble brukt i eksperimentet, YaraMila Fullgjødsel 18-3-15 og Superba 14-4-21. Tall i tabellen er oppgitt i prosentdel. - : ikke oppgitt/0

Varemerke/navn	YaraMila Fullgjødsel® 18-3-15	Superba (14-4-21 + mikro)	KRISTALON™ Indigo (9-5- 25 + Mg + S + mikro)
Produktkode/nr	PH381G	154101	PK97FK
Kornform	Granulert	Pulver	Pulver
Nitrogen (N) tot.	17.6	14	8.5
(NO ₃ -)	8.3	9.4	7.5
(NH ₄ +))	9.3	4.6	1
Fosfor (P) tot.	4.5	3.9	4.9
vannløselig	2.6	3.9	-
citratløselig	1.9	-	-
Kalium (K) tot.	14.6	21.2	24.7
vannløselig	14.6	-	-
Magnesium (Mg) tot.	1.5	2	4.2
vannløselig	1.3	2	-
Svovel (S) tot.	3.8	4.1	5.7
vannløselig	3.5	4.1	-
Bor (B) tot.	0.2	0.02	0.027
vannløselig	-	0.02	-
Kobber (Cu) tot.	-	0.0068	0.004
vannløselig		0.004	-
herav EDTA chelatert		0.0028	-
Mangan (Mn) tot.	-	0.102	0.06
vannløselig		0.06	-
herav EDTA chelatert		0.042	-
Jern (Fe) tot.	-	0.20	0.20
vannløselig, DTPA chelaterter		0.20	-
Molybden (Mo) tot.	-	0.004	0.004
vannløselig		0.004	-
Sink (Zn) tot.	-	0.046	0.027
vannløselig		0.027	-
herav EDTA chelatert		0.019	-
Klor (Cl) tot.	10.6	-	-

Vannglass

Kiselalger trenger silikat for å kunne danne cellevegger (EOL, 2017). Vannglass inneholder SiO_2 i tillegg til natriumoksid (Na_2O), og er løselig i vann, og ble derfor brukt som kilde til SiO_2 . Typen vi brukte inneholdt 27.5% SiO_2 . For å løse opp vannglasset og gjøre det tilgjengelig for alle algene skal hver 0,5 ml vannglass løses opp i 1 l vann. Vannglasset ble målt opp med en 3-veis pipett (figur 17) før det ble helt i en flaske med 1 l varmt ferskvann og ristet grundig. Ved utblanding ble det brukt 1 liter vann per 4.62 ml vannglass. Etterhvert som at algekonsentrasjonen ble tettere og krevde større



mengder vannglass, ble utblandingen av praktiske grunner gjort i en bøtte istedet for flaske. Etter risting av flaskene ble gjødsel og vannglass tømte i karet.

Figur 17: 3-veis pipette brukt for oppmåling av vannglass

Dosering

Bjørndal *et al.* (2016) kom fram til at for en vekst på $24 \mu\text{g}$ klorofyll $\text{l}^{-1} \text{d}^{-1}$ i en vannmengde på 7 m^3 , måtte 2,2 gram Fullgjødsel tilsettes. Videre fant de ut at for samme produksjon av klorofyll måtte 0,87 g silisiumdioksid (SiO_2) tilsettes. Etter anbefaling fra Torbjørn Dale ble denne mengden oppjustert til 1,25 g. For å få 1.25 g SiO_2 ble det brukt 4,62 ml vannglass.

En «dose», blir i denne oppgaven brukt som et begrep for mengden næring som kreves for en produksjon på $24 \mu\text{g}$ klorofyll $\text{l}^{-1} \text{d}^{-1}$, som er 2,2 gram fullgjødsel og 1,25 g SiO_2 (4,62 ml vannglass).

Næringsregime

I perioden fra 28.02 – 24.03 ble ikke næring tilsatt i karet. Dette ble gjort for å finne ut hvor høye klorofyllverdier kulturen klarte å nå med tilgang til kun de næringstoffene som naturlig forekommer i vannet. Etter kollaps på grunn av næringsmangel ble det igangsatt gjødsling med Yaramila Fullgjødsel og vannglass for å oppnå en så høy tetthet som mulig av alger i kulturen før filtrering. Kultivering foregikk over totalt 54 dager, 28.02 til 22.04, men perioden med gjødsling varte kun 14 av disse dagene, fra 23.03 – 05.04. Næringen ble tilsatt en gang hver dag, på omtrent samme tidspunkt, rundt kl 17.00, men med en del unntak. Fra 1 april ble gjødseltypen Superba tatt i bruk i kombinasjon med Fullgjødsel. På siste dag ble det kun brukt Superba. Tabell 3 gir en oversikt over når og hvor mye det ble gjødslet.

Tabell 3: Næringstilsetning, tidspunkt og mengder (g).

Dato	Fullgjødelse (g)	Superba (g)	Vannglass (ml)
23. Mar	2,2	0	3,16
24. Mar	2,2	0	3,16
25. Mar	1,1	0	1,58
26. Mar	2,2	0	4,62
27. Mar	2,2	0	4,62
28. Mar	2,2	0	4,62
29. Mar	0	0	0
30. Mar	1,2	0	2,31
31. Mar	4,4	0	9,24
01. Apr	4,4	4,4	18,48
02. Apr	4,4	4,4	18,48
03. Apr	4,4	4,4	18,48
04. Apr	4,4	8,8	46,2
05. Apr	0	26,4	55,44

Karbondioksid og lys

Som alle andre planter, trenger mikroalger karbondioksid (CO₂) til fotosyntesen. Dette ble levert av en sprinkler plassert midt i karet på bunn av konen, koblet til en luftpumpe som stod påslått 24 timer i døgnet gjennom hele prosjektet. Sprinkleren hadde en membran som førte til at luften som ble presset igjennom, hvorav rundt 0,03 % er CO₂ (Dannevig, 2009), kom ut som små bobler. Små bobler gir en bedre innblanding med vannet enn store bobler. Lufttrykket som pumpen leverte var ikke regulerbart. Lys er som kjent også nødvendig for fotosyntese, og kom kun i form av naturlig solinnstråling og dagslys. Ingen form for kunstig lystilførsel ble tatt i bruk.

Sammenlignende forsøk av Superba og Fullgjødsel

Den 01. april startet vi å gjødsle karet med en halvpart Superba og den andre halvparten med Fullgjødsel 18-3-15. Ettersom at det er så mange faktorer som virker inn på vekst, ville vi ikke kunne fastslå om det var Superba som bidro til en eventuell forbedring, eller om det var på grunn av andre årsaker. Derfor bestemte vi oss for å gjøre et forsøk hvor vi plasserte to små kulturer under tilnærmet identiske forhold, for å så gjødsle en med Superba og en med Fullgjødsel. Ved å måle klorofyll og andre verdier de påfølgende dagene, kunne vi med brukbar sikkerhet fastslå om typen gjødsel egentlig utgjorde noe forskjell, og finne ut om forskjellene i NPK eventuelt ville gi negativt utslag. Det ble også gjødslet med relativt store mengder gjødsel i disse bøttene, så vi ville også kunne se hvordan kulturene reagerte på dette.

Gjødsling

Den 31. mars ble to tilnærmet identiske svarte murerbøtter som rommet 18 liter grundig vasket med salmiakk, skylt, og fylt med 15 liter saltvann hver fra hovedkulturen.

0,5 g Fullgjødsel og 1,2 ml vannglass ble tilsatt i den ene bøtten, mens den andre ble tilsatt 0,5 g Superba og 1,2 ml vanngjødsel. På grunn av at gjødsel og vannglass må blandes ut i vann, inneholdt bøttene nå omtrent 17 liter vann hver. Det ble kun gjødslet en gang i løpet av forsøket. Innholdet i bøttene på dag 1 var da:

Bøtte nr 1: 0,5 g Superba, 1,2 g vannglass, 15 l saltvann fra karet, 2 l ferskvann fra springen.

Bøtte nr 2: 0,5 g Fullgjødsel, 1,2 g vannglass, 15 l saltvann fra karet, 2 l ferskvann fra springen.

Vi hadde ikke utstyr til å sørge for lufting i bøttene, så sedimentasjon og CO₂-mangel kunne bli et problem. For å bøte på dette ble det rørt kraftig i hver bøtte til samme tid en gang per dag, i et forsøk på å piske inn CO₂ og få algene opp i suspensjon.

Se tabell 2, s. 27 for stoffinnhold i Superba og Fullgjødsel.

Plassering og målinger

Etter gjødsling ble bøttene plassert ute med en meters mellomrom på bryggekannten, slik at de fikk tilnærmet like lys og vindforhold. Tanken bak å fylle de nesten helt opp til randen med 17 liter var at på den måten ville algene få mest mulig tilgang på lys, ved lavere vannstand vil bøttekannten skygge for mye av lyset når solen stod lavt på himmelen.

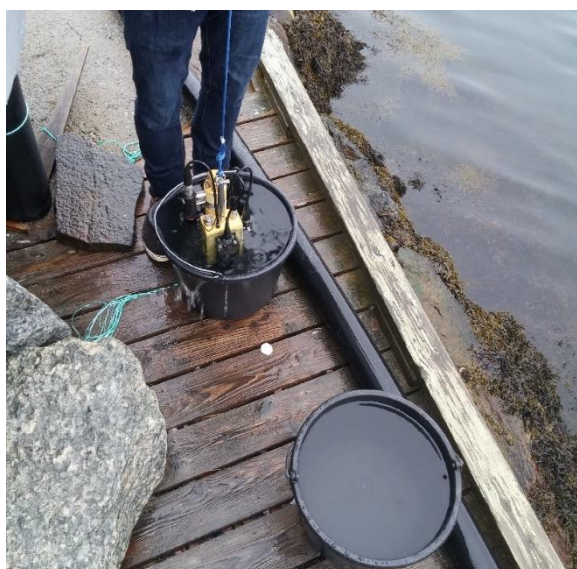
En CTD måling ble utført i hver bøtte til omtrent samme tid hver dag de 5 dagene eksperimentet pågikk. Både vi og Bjørndal *et al.* (2016) testet ut om lysmengde påvirket resultatene fra CTD målingene, og begge konkluderte med at under svake lysforhold viste CTD-en høyere verdier enn i

sterke. Dette kunne føre til problemer i en liten og svart murerbøtte. Med tanke på dette ble CTD instrumentet plassert på samme sted i bøtten under hver måling, med klorofyllmåleren inntil kanten. Sannsynligvis fikk vi data som var noe høyere resultater enn om bøtten var hvit, men ved å plassere instrumentet på samme sted ville vi i hvert fall få konsistente data. Rett etter at bøttene ble fylt med vann fra karet forventet vi et mer eller mindre likt klorofyllnivå i bøttene, men som man kan se i tabell 4 viste første måling en forskjell på $2,27 \mu\text{g l}^{-1}$.

Tabell 4: Klorofyllkonsentrasjoner i bøttene 31. mars

Klorofyll ($\mu\text{g l}^{-1}$)			
Bøtte #	Måling #1	Måling #2	Gjennomsnitt
1	10,12	8,59	9,35
2	7,85	10,63	9,24

En ny måling ble tatt 20 minutter senere for å dobbeltsjekke. Her var rollene snudd om, bøtte #1 hadde $8,59 \mu\text{g l}^{-1}$ og bøtte #2 $10,63 \mu\text{g l}^{-1}$. Vi krediterte disse forskjellene til hvordan CTD måleren ble satt i bøtten under måling (figur 18), og standardiserte plasseringen av CTD`en for målingene de kommende dagene. Data for trykk og saltinnhold ble ikke registrert på noen av målingene på grunn av at disse sensorene er plassert høyt på CTD`en, slik at de havnet over vannstanden i bøtten. I løpet av 24 timene mellom hver måling, sedimenterte de fleste av algene til bunnen av bøttene. Målingene ble derfor tatt rett etter den daglige omrøringen. pH ble ikke målt.



Figur 18: CTD måling i bøttene.

Vannbytte

I løpet av eksperimentet utførte vi vannbytter for å enten heve temperaturen i karvannet, for å tilføre ny næring i forbindelse med kollaps i algekulturen eller for å gjennomføre konsentreringsforsøk (tabell 5).

Vannbytte på grunn av forventet temperaturnedgang ble utført 06. og 08. mars, da det var varslet temperaturer på under -5°C de følgende nettene, og temperaturen i karet allerede var nede på $1,7^{\circ}\text{C}$ den 06. mars. Det ble utført vannbytter etter kollaps i algekulturen 20. og 23. mars, og på grunn av konsentreringsforsøk 04. og 06. april. 06. april sank også vannstanden ned til 8% etter en lekkasje. 08. april ble det utført en siste uttynning av algekulturen for å forhindre en kollaps i løpet av påsken.

Vannstanden i karet er målt med en meterstav med markeringer hver 10 cm. Dette, sammen med bevegelsen av bølger i vannet, gir en viss feilmargin i disse målingene. Mengden nedbør er kalkulert fra oppgangen i vannstand mellom målinger.

Tabell 5: Oversikt over vannbytte (%), endring i vannstand (m) og nedbørstilførsel (mm), samt begrunnelse for vannbytter.

Dato	Vannbytte (%) (1 % tilsvarer vannstand på 1 cm.)			Vannstand (m)			Nedbør (mm)	Begrunnelse for vannbytte
	Drenering (%)	Tilføring (%)	Vannkilde dybde (m)	Før drenering	Etter drenering	Etter vanntilførsel	Før vannbytte	Info
06.mar	50	50	100	1,10	0,50	1,00		Varslet minusgrader.
08.mar	30	30	100	1,00	0,70	1,00		Varslet minusgrader.
20.mar	50	50	100	1,10	0,50	1,03	100	Krasj i algekulturen.
23.mar	10	10	100	1,03	0,90	1,00		Krasj i algekulturen.
28.mar	80	80	50	1,00	0,20	1,00		Klorofyll-nedgang.
04.apr	5	5	50	1,005	0,95	1,00	5	Testkjøring av elektroforese.
06.apr	10	0		1,00	0,90			Fullskala elektroforese.
06.apr	80	90	50	0,90	0,08	1,00		Lekkasje.
08.apr	95	95	50	1,00	0,05	1,00		Uttynning av algekulturen.

Konsentrering

For å komme fram til de beste konsentreringsmetodene ble det gjennomført en rekke småskala og storskala forsøk. Etter en idémyldringsrunde med gjennomgang av litteratur på temaet, hvor det ble lagt vekt på praktisk og økonomisk gjennomførbarhet i vår skala, ble det bestemt å se nærmere på filtrering med mikrometerduker, pH-indusert flokkulering og elektroforese. Det ble bygget en prototype for mikrometerduksfiltrering i liten skala og prøvd ut forskjellige strømstyrker og materiale for elektroforese. Den endelige storskala prosedyren viste seg å være en kombinasjon av begge metodene.

Filtrering

Småskala forsøk

Prototype for mikrometerduksfiltrering

22.03.17

Utstysliste

2 stk 0,5 l plastkopper
 trepinner
 125 µm filterduk
 20 µm filterduk
 Strikk

Metode



Figur 19: Protoypen.

Prototypen (figur 19) ble laget av to plastkopper hvor bunnen ble skåret ut og plassert oppå hverandre, slik at vannet kunne renne gjennom de uten å fylle seg opp med vann. Trepinner ble brukt for å få den øverste koppen til å hvile oppå koppen under. På den øverste koppen ble det festet et stykke med 125 µm filterduk og under denne ble 20 µm duken montert. Det ble brukt strikk for å holde dukene på plass, og for å lettere kunne justere hvor langt ned i koppene duken skulle henge. Hensikten med å ha filterdukene hengende som en pose ned i koppen var for å utnytte et størst mulig filterareal i filtreringsprosessen.

Selve forsøket på filtrering (figur 20) ble gjort ved å plassere en vannslange som henter vann fra 100-meters dyp, på en slik måte at alt vannet som kom ut av den rant gjennom begge filterdukene .



Figur 20: Test av prototypen.

Vannmengden ble justert til et så høyt nivå som det var mulig å få uten at filterdukene bremsset vanngjennomstrømningen så mye at koppene rant over. Vann ble deretter ført gjennom filterprototypen i en testperiode på 10 minutter. I løpet av denne tiden klarte filteret å ta unna alt vannet uten at vi fikk overrenning i noen av koppene.

For å beregne hvor stor vanngjennomstrømning filteret hadde håndtert, ble slangen som fortsatt var innstilt på samme vanntrykk ført over til en bøtte med literstreker. Vi tok tiden i 1 minutt før vannet ble slått av før vi deretter målte hvor mye vann som hadde kommet gjennom slangen i denne perioden. Dette ble deretter ganget med 10 for å anslå vannmengden som hadde blitt ført gjennom filteret i løpet av testperioden på 10 minutter.

Stack-filter

På oppfordring av veileder ble det 06.04.17 gjort et forsøk med stack-filter for å undersøke filtreringshastigheten, og hvor mye alger de forskjellige maskestørrelsene kunne fange opp.

Utstysliste

Stack-filter med 3 plater
 - 125 μm topplate
 - 63 μm mellomplate
 - Bunnplate med utslippsrør
 2 stk 18 liters bøtte
 20 μm filterduk
 Tau
 Liten sifoneringsslange

Metode



Figur 21: Stack-filter oppsett.

Før forsøket ble filtrene veid. Algevann fra hovedkaret ble deretter samlet i en 18-liters bøtte, og sifonert ned i stack-filteret (figur 21). Stack-filteret slapp så ut vannet i en annen 18-liters bøtte med en 20- μm duk. Etter en halvtime ble prosessen stoppet, det resterende vannet ble skilt ut fra filtrene og utstyret ble veid på nytt, slik at man kunne se hvor mye alger som hang igjen i de ulike maskene.

Storskala forsøk

Mikrometerduksfiltrering i stablede bøtter

28.03.17

Utstysliste

2 stk. 18-liters bøtter
125 μm og 20 μm filterduk
Tau
Vinkeljern
Bolter
Slange til sifonering

Metode

Filtersystemet ble designet etter de samme prinsippene som i småskaletesten. Det ble brukt to 18-liters bøtter påmontert filterduk for å filtrere vannet som ble sifonert fra hovedkaret (figur 22).

Den nederste bøtta ble dekket med en 20 μm filterduk og festet med et tau. Denne måten å feste duken på, gjorde det enkelt å dytte duken så langt ned i bøtta som ønskelig for å lage et størst mulig areal for filtrering og for å forsøke å opprettholde en god vanngjennomstrømning etter hvert som duken ble tilstoppet av alger. Duken ble dyttet ned slik at den på det laveste punktet var omtrent 10 cm over bunnen av bøtta. Hengemannsknuten viste seg å være en effektiv knute for å stramme tauet. Knuten ble på forhånd testet ved at en plastikkpose full av vann ble plastert i filterduken for å simulere hva som ville skje dersom duken ble tilstoppet ved filtrering med påfølgende vannopsamling i filteret. Testen viste at friksjonen i hengemannsknuten var stor nok til at den kunne holde duken fast med denne belastningen.

Det ble deretter boret et hull på ca 5 cm i diameter på siden av bøtta hvor filtrert vann kunne renne ut i sjøen. Hullet ble boret omtrent 5 cm høyere enn bøtte-bunnen. Hensikten med dette var å øke stabiliteten på filteret ved å la noe vann samle seg i bunnen og dermed fungere som en vekt som gir filteret litt tyngde. Når vannstanden stiger opp til hullet, vil overskuddsvannet forlate bøtta ved overrenning.

På den øverste bøtta ble det boltet fast 5 L-vinkler av metall til sideveggene for å kunne plassere den oppå den underste bøtta. Det var viktig at denne ikke gikk for langt ned i den underste bøtta siden det ville begrenset vannkapasiteten det underste filteret kunne håndtere. L-vinklene ble derfor boltet fast omtrent 5 cm over bøttebunnen for at den øverste filtermodulen skulle komme så høyt som mulig. På den øverste bøtta ble det montert en 125 μm filterduk som ble festet med tau på samme

måte som på den nederste bøtta. Et hull på ca 5 cm i diameter ble boret i bunnen slik at vannet som hadde gått gjennom 125 μm duken ble ført ned i filtermodulen med 20 μm filterduk.



Figur 22: Konstruksjon av filtreringsoppsettet.

Filtreringsforsøket ble startet 28.03.2017, kl. 1820. En slange ble brukt for å sifonere vann fra hovedkaret og ned i bøttefilteret, og vanntrykket ble justert ved å regulere høyden på slangen.

Vannmengden som ble tilført filteret, ble forsøkt tilpasset for å unngå overrenning. Det oppstod raskt problemer med at vannet ikke kunne trenge gjennom filterduken raskt nok på grunn av tilstopping. Dette gjorde at vannmengden som ble sifonert ut av karet måtte justeres kontinuerlig og i flere tilfeller stoppes helt for å vente på at vannet skulle filtreres gjennom dukene. Etter 1 time ble det besluttet at testen skulle avsluttes. Etter denne ene timen hadde vi sifonert omtrent 3 % ut av hovedkaret. Dette ble målt ved å kontrollere vannstanden før og etter filtreringsforsøket. Noe vann ble sølt utenfor filteret i forbindelse med at vanntrykket måtte justeres og noen ganger stoppes helt, men mengden som ble sølt utenfor filteret var forholdsvis lite og hadde sannsynligvis en ganske liten betydning på resultatet.

Når mesteparten av vannet som hadde samlet seg opp i filtersystemet hadde blitt filtrert gjennom den nederste filterduken på 20 μm , ble duken demontert fra bøtta og klemt forsiktig sammen slik at mest mulig av det gjenværende vannet skulle bli presset ut av algekonsentrasjonen.

Utfelling

Småskala forsøk

pH-indusert flokkulering

Et forsøk på å framkalle flokkulering og utfelling ved å øke pH ble gjort 02. april. Omtrent 3 dl husholdningssalmiak med 8 % ammoniakkinhold og pH på 12 ble tilsatt i en hvit mellomstor Gilde kasse som var fylt med ukjent antall liter vann fra karet. Ifølge Schlesinger *et al.*, (2012) ville algene flokkulere og falle til bunns ved en pH på 11.

Elektroforese

Vi gjennomførte en rekke korte forsøk med ulike materiale og strømstyrker for elektroforese, hvor målet var å få gjennomført nok elektrolytisk flotasjon til at algene fløt opp til overflaten av vannet, og med minst mulig forurensing. Det mest vellykkede materialet skulle så bearbeides til bruk i en mulig storskala elektroforese metode.

Vi samlet inn små mengder vann fra hovedkaret i små plastbokser, kasser eller glasskrukker, hvorpå det ble utprøvd forskjellige elektroforesemetoder. Materialene ble senket i algevann før tilkobling til strømkilden, da sluttingen av kretsen starter strømføringen gjennom vannet. Fra 31. mars til 02. april ble mopedbatteriet brukt som strømkilde. Den 03. april ble mopedbatteriet erstattet av en strømforsyning med justerbar volt- og amperestyrke, ettersom mopedbatteriet ble vurdert å være for kraftig.

Resultatene av forsøkene ble notert, og nye forsøk og metoder ble løpende prøvd ut på bakgrunn av erfaringene vi fikk fra disse forsøkene. Noen materialer ble utprøvd flere ganger i ulike kombinasjoner av strømstyrke og beholdere. Skiftet til glasskrukke ble blant annet gjort for å få bedre innsyn i resultatene, både over og under vannoverflaten.

Småskala forsøk

Rustfri ståltråd

31.03.17. Rustfri ståltråd ble koblet til hver sin pole på mopedbatteriet, og senket direkte i hver sin ende av en liten boks med algevann.

Karbonbiter – Test 1

01.04.17. Rustfri ståltråd ble tilkoblet hver sin pole på mopedbatteriet, og festet i to adskilte karbonbiter fra en ødelagt drone, senket i algevann i to forskjellige beholdere; først i en liten boks og senere i en større hardplast «Gilde»-kasse. Forsøket i den lille boksen varte i 20 minutter, mens Gilde-kasse forsøket varte 60 minutter.

Rustfri stålskrubb – Test 1

02.04.17. Rustfri ståltråd ble tilkoblet hver sin pole på mopedbatteriet, og festet i to adskilte biter rustfri stålskrubb, senket i en liten boks med algevann. Det ble i dette tilfellet også utført en kontrolltest med algevann filtrert gjennom et 20 µm filter.

Karbonbiter – Test 2

02.04.17. Rustfri ståltråd ble tilkoblet hver sin pole på mopedbatteriet, og festet i to adskilte karbonbiter fra en ødelagt drone, senket i en glasskrukke med algevann. Forsøket var en kontrolltest av tidligere forsøk med karbonbiter, hvor glasskrukken skulle gi bedre innsyn.

Rustfri stålskje

02.04.17. Rustfri ståltråd ble tilkoblet hver sin pole på mopedbatteriet, og festet i to adskilte biter av knekt rustfri stålskje, senket i en glasskrukke med algevann.

Rustfri stålskrubb – Test 2

02.04.17. Rustfri ståltråd ble tilkoblet hver sin pole på mopedbatteriet, og festet i to adskilte biter rustfri stålskrubb, senket i en glasskrukke med algevann. På grunn av glasskrukkens noe trangere fasong måtte stålskrubb bitene adskilles med en skillevegg av tykk vannholdig teip.

Aluminiumsfolie – Test 1



03.04.17. Det ble prøvd ut to strømforsyningsstyrker. Først på 1,2 V og 1 mA, og deretter 1,2 V og 73 mA. To separate strimler med aluminiumsfolie, bearbeidet til en L-form, ble senket i algevann og koblet til hver sin strømpole, hvorpå den negativt ladde aluminiumsfolien var i bunnen av krukken, mens den positivt ladde henger et par centimeter over den andre (figur 23). Utviklingen i algevannet ble fulgt i 40 minutter før strømtilførselen ble frakoblet og forsøket avsluttet.

Figur 23: Strimler av aluminiumsfolie, koblet til strømforsyning, senket i glasskrukke.

Aluminiumsfolie – Test 2

03.04.17. Strømforsyningsstyrken ble satt til 1,2 V og 73 mA. To separate strimler med aluminiumsfolie, bearbeidet til en L-form, ble senket i algevann og koblet til hver sin strømpole, hvorpå den negativt ladde aluminiumsfolien var i bunnen av krukken, mens den positivt ladde henger et par centimeter over den andre.

I glasskrukken var det plassert en liten magnet, og glasskrukken ble plassert på en magnetrører innstilt på ca 400 rpm. Magnetøreren ble skrudd av etter 10 minutter, og forsøket ble avsluttet etter 20 minutter.

Aluminiumsfolie – Test 3

03.04.17. Strømforsyningsstyrken ble satt til 1,2 V og 146 mA. To separate strimler med aluminiumsfolie, bearbeidet til en L-form, ble senket i algevann og koblet til hver sin strømpole, hvorpå den negativt ladde aluminiumsfolien var i bunnen av krukken, mens den positivt ladde henger et par centimeter over den andre. Forsøket ble avsluttet etter 20 minutter, etter å ha observert effekten dobling av amperestyrken hadde på elektroforeseprosessen.

Storskala forsøk

Testkjøring av elektroforese og filtrering

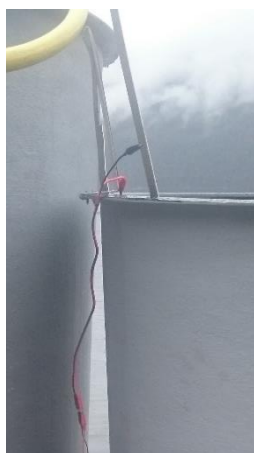
04.04.17. Basert på resultatene fra de småskala elektroforeseforsøkene, og mikrometerduksforsøket, planla vi ett storskala elektroforese- og filtreringsforsøk.

Utstysliste

1 m³ kar til elektroforese
 2 stk sifoneringsslanger
 Aluminiumsplate (60 cm x 55 cm x 3 cm)
 2 stk aluminiumstrimler (ca 1,5 m x 5 mm x 3 mm)
 2 stk modifiserte 18-liters bøtter
 125 µm filterduk
 20 µm filterduk
 Tau (til å feste filterdukene)
 Liten bøtte (til innsamling av alger)
 Strømforsyning med klyper

Metode

Elektroforesekarer, på 1 m³, ble plassert ved siden av hovedkaret. Omtrent 5 % av vannstanden i hovedkaret ble sifonert over i elektroforesekarer. Dette tok litt over 5 minutter og tilsvarte en vannmengdeoverføring på omtrent 400 liter, eller omlag 50 % av karetets kapasitet.



Figur 24: Klyper fra strømforsyning koblet til aluminiumstrimlene i elektroforesekarer.

Strømforsyning ble koblet til aluminiumstrimler (anode) og en aluminiumsplate (katode) (figur 24). Anoden ble festet på innsiden av karet og katoden ble lagt i bunn for å få best mulig spredning av hydrogenbobler i elektroforesekarer. Vi antok at en større spredning av hydrogenbobler gav mer effektiv flotering av alger.

Strømforsyningsstyrken var innstilt på 5 V og 3,69 A, men på grunn av motstanden i algekulturen var den faktiske spenningen og strømforsyningsstyrken 3,58 V og 3,95 A.

Etter at strømforsyningen var skrudd på fikk elektroforeseprosessen stå i 30 minutter (figur 25) før vi så forsiktig begynte å samle inn mikroalgene som hadde flytt opp til vannoverflaten.



Figur 25: Elektroforese av sifonert algevann, etter 5- og 30- min med strømtilførsel.

Mikroalgene ble samlet inn ved hjelp av små plastbøtter (figur 26), ved å forsiktig øse dem fra overflatevannet og filtrere dem gjennom mikrometerduksbøttene. Her var målet å få med mest mulig alger, og minst mulig vann, slik at filtreringsprosessen skulle ta minst mulig tid. For å hindre at algene sank ned igjen ble strømforsyningen holdt påskrudd helt til innsamlingen var ferdig.



Figur 26: Bilder tatt etter 40- 70- og 90 min med elektroforese, etter henholdsvis 10- 40- og 60 min med algeinnsamling.

Etter filtreringen ble 20 μm duken demontert fra bøtten og algene ble forsiktig skrapet fra filteret og over i en liten boks. Deretter ble den samlede våtvekten til biomassen veid og prøven ble lagret i kjøleskap sammen med vannprøvene.

Endelig konsentreringsmetode

Fullskala elektroforese og filtrering

06.04.17. Den endelige storskala filtreringsmetoden var i all hovedsak en gjentakelse av elektroforeseforsøket fra 04.04.17, men med andre verdier.

Utstysliste

- 1 m³ kar til elektroforese
- 2 stk sifoneringsslanger
- Aluminiumsplate (60 cm x 55 cm x 3 cm)
- 2 stk aluminiumstrimler (ca 1,5 m x 5 mm x 3 mm)
- 2 stk 18-liters bøtter
- 2 stk modifiserte 18-liters bøtter
- 125 µm filterduk
- 20 µm filterduk
- Tau (til å feste filterdukene)
- Liten bøtte (til innsamling av alger)
- Strømforsyning med klyper
- Tilførselsvann (fra 50 m dyp)

Metode



Figur 27: Aluminiums-platen og strimlene brukt i elektroforesekarret.

Elektroforesekarret ble i denne omgang nærmest fullt til randen, da omtrent 10 % av hovedkarret ble sifonert. Denne prosessen tok 15 minutter og tilsvarte en vannmengdeoverføring på omtrent 1000 liter. Før strømtilførselen ble skrudd på ble det tatt en pH måling av vannet i elektroforesekarret. Det ble videre eksperimentert med to innsamlingsmetoder; manuell øsing via små bøtter, som forrige gang, og innsamling via heving av vannstanden, som så sender algene ned i karetts overflatesluk.

Det ble ellers brukt det samme oppsettet som forrige gang (figur 27), med strømforsyning og aluminiumstrimlene koblet til platen (figur 28) på bunnen av karet. I denne omgang var strømforsyningsstyrken kjørt på 3,52 V og 3,94

A.



Figur 28: Elektroforesekaret fylt til randen, strømtilførselsklyper koblet til aluminiumstrimlene, samt avtagbart overflatesluk.

Elektroforeseprosessen sto urørt i 1 time, før vi forsiktig begynte å samle inn mikroalgene som hadde flytt opp til vannoverflaten, på samme måte som før, med små bøtter og manuell filtrering gjennom mikrometerduksbøttene.

Strømforsyningen ble midlertidig avslått da bunnventilen på hovedkaret røk, og vannstanden sank til 8 cm. Dette uhellet begrenset oss til kun en elektroforeserunde. Etter omtrent 20 minutter ble strømforsyningen skrudd på igjen. Det ble videre forsøkt å øke strømforsyningstyrken til 5 V og 4,5 A, hvorpå faktisk strømforsyningstyrke var på 3,3 V og 4,49 A, for å se om prosessen gikk raskere. Det var ingen merkbar forskjell.

Strømtilførselen ble skrudd av etter en time med ordinær innsamling, og vannet i mikrometerduksbøttene fikk stå og filtrere, da de var nærmest fullt til randen. Omtrent 1/3 av algene i overflatevannet gjenstod å samle inn. Det ble også tatt vannprøve, samt pH- og CTD-målinger av elektroforesekaret.

30 min etter endt ordinær innsamling ble det besluttet å prøve den nye «sluk-metoden». Strømtilførselen ble skrudd på igjen på grunn av merkbart bunnfall i elektroforesekaret. Vannstanden i elektroforesekaret ble hevet ved å tilføre vann fra 50 meters dyp. Ved perfekt vannstand fløt overflatelagene inn i overflatesluket. Algene rant da gjennom dette røret og ned i to 18-liters bøtter. Innholdet i disse bøttene ble så helt over i-, og filtrert gjennom, mikrometerduksbøttene. Dette tok omtrent 3 timer.

Etter filtreringen ble den samlede våtvekten til all biomassen veid, og prøven ble lagret i en privat fryser i en uke gjennom påskeferien, for så å leveres til veileder og plasseres i kjøll.

Algetelling

Etter kultivering- og konsentreringseksperimentene var ferdig ble det valgt ut vannprøver til telling. Tellingsperioden varte fra 04.05.17 til 14.05.17. På grunn av behovet for tidsbesparelser ble ikke alle prøver telt, men et representativt utvalg ble valgt på bakgrunn av CTD data og andre forsøksprøver dømt til å være høyst relevante for oppgaven.

Vannprøvene ble oppbevart ved 4 °C grader i kjøleskap. Ettersom kald væske har høyere gassinhold enn varm væske, ble prøvene som skulle telles tatt ut og oppbevart i romtemperatur i omtrent 24 timer, før de ble satt til sedimentering etter Utermöhl-metoden (Tangen & Sournia, 1978). Dette ble gjort for å hindre bobledannelser i prøvene, noe som kunne føre til vanskeligheter ved telling under mikroskop. Langvarig oppbevaring gjør at algene i prøveglassene sedimenterer. For å få en jevn mengde alger i prøvetvannet ble derfor prøveglassene, etter at de hadde stått 24 timer i romtemperatur, vendt forsiktig 100 ganger for å få algene opp i suspensjon. Umiddelbart etter vending ble prøven satt til sedimentering i 24 timer (figur 29). De første prøvene, hvor klorofyllnivået var lavt, ble sedimentert i doser på 50 ml. Senere prøver ble sedimentert i 10 ml rør, da klorofyllnivået økte og algekulturen med *S. costatum* ble så tykk at telleprosessen ble mye mer tidskrevende. Ettersom klorofyllnivået vokste ble prøvene også utvannet for å gjøre tellingen praktisk gjennomførbart.



Figur 29: Foran: Sedimentering av vannprøve i 50 ml rør. Bak: vannprøveflasker.

Etter et døgn med sedimentering ble prøvene satt under et omvendt mikroskop av typen Leitz Diavert og telt med utgangspunkt i Utermöhl-metoden. I de første prøvene, sedimentert i 50 ml rør, ble det telt individuelle algeceller, men ettersom algemengden økte drastisk, ble 10 ml sedimentering tatt i bruk, og da det bare var ett mikroskop tilgjengelig, var det behov for å forenkle prosessen for å spare tid. Det ble det da heller talt antall kjeder for så å telle celleantallet i 50 tilfeldige kjeder av *S. costatum* i prøven, for å anslå et gjennomsnitt antall celler per kjede, til bruk i

videre utregninger. De mest tallrike algeartene som ble talt var *S. costatum*, *Chaetoceros sp.*, *Thalassiosira sp.*, *Thalassionema sp.*, *Ceratium fusus*, *Pseudo-nitzschia sp.* og *Coscinodiscus sp.* Videre ble det talt et fåtall av andre arter og noen arter som ikke ble identifisert. Boken «Marine mikroalger i farger» (Thronsdén & Eikrem, 2001), samt hefte «Identifikasjon Marin planteplankton» (Dale, 2017) ble brukt til identifikasjon av algene.

Mikroskopet hadde et videokamera tilkoblet en skjerm, som gjorde det mulig for flere å telle prøvene samtidig, som også reduserte sannsynligheten for feiltelling. I telleprosessen utgjorde bildet vist på skjermarealet en *kvadrant*. Tellingen foregikk ved å telle alger i to rader langs diameteren til prøvebeholderen. Man begynte øverst i midten av prøven, talte innholdet på skjermen, bevegde seg ned til neste kvadrant, og fortsatte tellingen slik til man traff bunnen av prøven. Denne prosessen ble så gjentatt ved å bevege seg en kvadrant til høyre og gjenta prosessen, oppover, i motsatt retning, slik at man talte to rader per prøve.

Skjermen hadde et areal på 20x26 cm, hvorpå den i realiteten viste et prøveareal på 0,26x0,36 mm. Dette ble stadfestet ved å plassere en mikroskopisk linjal under det reverserte mikroskopet og måle hvor mye skjermen viste av prøveområdet ved en mikroskopobjektiv på 20x, som var zoomforholdet brukt til tellingen av alle prøvene. Videre ble *prøvebeholderen* målt til å ha en diameter på 26 mm og et areal på 530,93 mm². På bakgrunn av alt dette ble *rad-arealet*, det *analyserte arealet* og *forholdsfaktoren* kalkulert i henhold til metoden brukt i Bjørndal *et al.* (2016). En *rad* under tellingen tilsvarte et areal på 9,36 mm² (0,36x26 mm). Det *analyserte arealet* av to rader ble da 18,72 mm² og *forholdsfaktoren* mellom *analysert areal* og algeinnholdet i selve *prøvebeholderen* ble kalkulert til å være 28,26 (530,93/18,72 mm²).

Tallet på observerte algeceller i hver prøve ble multiplisert med forholdsfaktoren, som gav et tall på hvor mange algeindivider som var i selve sedimenteringsprøven på enten 50- eller 10 ml. Videre måtte man ta høyde for eventuell utvanning når man regnet ut algekonsentrasjonen per liter. Utvanningen ble gjort før sedimentering ved å plassere prøvebeholderen og 10 ml-røret på en elektronisk vekt. Et bestemt antall gram med vannprøve ble så helt i beholderen, hvorpå resten av beholderen, og røret, ble fylt opp med vann og forseglet for sedimentering. Vekt-forholdet mellom disse ble notert for hver utvannet prøve. Vannprøven inneholder saltvann, hvor 1g utgjør 0,975 ml. I en utvannet 10 ml sedimenteringsprøve må man ta vekten på den reelle tilførte vannprøvemengden (f.eks 5g) og multiplisere den med saltvannsfaktoren (0,975 ml), for å få det reelle prøvevolumet i ml. Algeindivider i en liter algevann regnes så ut ved å multiplisere antallet algeindivider i prøven med faktoren fra 1000 ml / reelt prøvevolum, ved en utvannet 10 ml prøve, eller med faktoren fra 1000 ml / prøvevolum, ved en standard 50- eller 10-ml prøve uten utvanning.

Sedimenteringstest

15.05.17

Det ble besluttet å gjennomføre et lite forsøk for å kontrollere om algene sedimenterte skikkelig eller ikke. Algeprøven som ble valgt til forsøket var P-29, prøvedato 28.03.2017. Prøven har et klorofyllnivå på 21 µg chl a /l.

Den 14.05.2017 ble en 50 ml prøve med 100 % algevann satt til sedimentering på en 3 ml mikroskopplate med et 47 ml sedimenteringsrør på toppen. Dette sedimenterte i omtrent 1 døgn før en pipette ble brukt til å ta en 3 ml vannprøve fra overflaten og 3 ml fra omtrent midten av sedimenteringsrøret. Vannet fra overflaten og midten ble plassert i hver sin mikroskopplate med en diameter på 26 mm og algetelling ble gjennomført i mikroskop med forstørrelsen innstilt på 20x. Et område på 0,72 mm x 26 mm ble telt for å anslå algekonsentrasjonen. Totalt areal på prøven var 530,93 mm².

Mikroskopplaten som ble brukt under sedimenteringen ble kontrollert for å undersøke om det var alger som hadde sunket til bunnen under sedimenteringstiden på omtrent et døgn. Dette ble bekreftet ved å studere prøven under mikroskop, men algetelling av bunnprøven ble ikke gjort siden konsentrasjonen var så stor at det var umulig å skille algene fra hverandre. En algetelling av en utvannet prøve fra P-29, ble gjennomført 10.05.2017. Da ble det beregnet en konsentrasjon på 153 353 646 *S. costatum* celler per liter vann i karet i den samme prøven.

Beregning av glødetap

Utstyr

3 stk digler
Magnetrører
Magnet 60 mm
Vekt med 4 desimaler
Begerglass
Ovn til tørking: Termaks
Ovn til forbrenning: Heraeus MR 170

Metode

Glasskrukken med de filtrerte algene ble tatt ut fra fryseren omtrent kl. 10:00, om dagen, og satt til tining i romtemperatur. Etter noe tid ble det besluttet å legge glasskrukken i et vannbad på 35 °C for å fremskynde tiningsprosessen. Omtrent kl. 11:30 var algene tint og diglene ble veid for å senere kunne avgjøre våtvekten av algene som ble tilsatt i hver digel.

For å forsøke å få en mest mulig jevn fordeling av algene i glasskrukken, ble krukken vendt frem og tilbake til algene tilsynelatende var godt fordelt. Et begerglass ble brukt for å hente ut 3 prøver som ble tømt opp i diglene slik at disse ble omtrent halvfulle. Diglene var merket med R1, R13 og R16. Det ble da oppdaget noen algeklumper som ikke hadde løst seg opp og det ble besluttet å starte på nytt. Glasskrukken ble kl. 12:00 plassert på en magnetrører og en magnet på 60 mm ble sluppet ned i algekonsentrasjonen. Magnetrøreren ble innstilt på full styrke og etter 10 minutter var det ikke lenger tegn til klumper i algeblandingen.

Diglene ble på nytt fylt omtrent halvfulle med alger og veid på vekten før de kl. 12:20 ble plassert i et varmeskap som var varmet opp til 105 °C (figur 30).



Figur 30: Diglene med algeprøver (t.v.) og varmeskap (t.h.)

Neste dag, 23.05.2017, kl. 13:05, ble diglene tatt ut av varmeskapet. Når de hadde kjølt seg ned til rundt romtemperatur, veide vi hver digel og loggførte tørrvekten. Kl. 15:52 ble de tre tørkede prøvene plassert i en forbrenningsovn som holder en stabil temperatur på 550 °C (figur 31).



Figur 31: Veeining av tørrvekt (t.v.) og plassering av diglene i forbrenningsoven (i.m, t.h.)

Dette stod i 24 timer til kl. 15:52 den 24.05.2017 før de ble satt til nedkjøling. Når diglene hadde nådd romtemperatur ble de veid og askevekten ble loggført.

I og med at prøvene inneholdt en relativt stor mengde sjøvann, ble tørrvekten, askevekten og glødetap korrigert for saltinnholdet i vannet. Vi tok utgangspunkt i en salinitet på 33 PSU og beregningen av mengden salt i hver digel ble utregnet med følgende formel:

$$\frac{\text{Vannvekt}}{1000} \times 33 = \text{Saltvekt} \quad (1)$$

Beregning av vekstrater

Formlene vi brukte for utregning av vekstrater, og beskrivelsen av disse, er hentet fra fjorårets oppgave (Jameson, referert i Bjørndal *et al.*, 2016). Formelene ble brukt til å regne ut Specific Growth Rate (SGR), doblingsrate og delingsrate, og er beskrevet under.

Vekstrate (SGR) er en konstant som beskriver antall doblingser per tidsenhet (1 døgn).

$$SGR = \frac{\ln \left[\frac{N(T_2)}{N(T_1)} \right]}{T_2 - T_1} \quad (2)$$

Her er $N(T_1)$ = biomasse på tidspunkt T_1 , og $N(T_2)$ = biomasse på tidspunkt T_2 . Enheten for T er døgn. Det betyr at hvis vi for eksempel skulle regne ut vekstrater for perioden 4 – 10 april, ble $T_1=4$ og $T_2=10$. Vi brukte et gjennomsnitt av målt klorofyll som enhet for biomasse i våre utregninger. Man kan også bruke turbiditet, algeantall, tørrvekt og så videre som enheten for biomasse.

For å finne doblingsrate, som er antall dager per dobling, brukte vi formelen

$$Doblingsrate = \frac{\ln 2}{SGR} \quad (3)$$

Formelen brukt for delingsrate, som er antall delinger per dag, var

$$Delingsrate = \frac{SGR}{\ln 2} \quad (4)$$

Resultat

Oversikt

De følgende grafene fra eksperimentet viser data innhentet mellom 28.02.17 til 22.04.17. Dette inkluderer CTD målinger, samt manuelt innhentede data. Manuell data opphører 06.04.17, da eksperimentet var planlagt å avsluttes den dagen etter storskala elektroforese og filtrering. Det oppstod også en lekkasje i hovedkaret og tap av det meste av den opparbeidede algekulturen under elektroforeseprosessen.

Det var i utgangspunktet et mål om å gjøre flere filtreringsforsøk den dagen, men dette ble forhindret av tidsmangel i kombinasjon med lekkasjen etter oppfylling av elektroforesekaret. Lekkasjen hadde ingen innvirkning på elektroforese- og filtreringsforsøket, slik at det gikk som planlagt. Det var også planlagt å tappe hovedkaret ned til en vannstand på omtrent 10 cm, tilsvarende 10 % av karvolumet, for deretter å holde liv i algene dersom det senere skulle dukke opp behov for å bygge opp kulturen til et nytt filtreringsforsøk. Lekkasjen i karet ble stoppet når vannstanden var på 8 cm, slik at dette målet ble oppnådd. Videre CTD-målinger ble foretatt til en endelig avvikling av algekulturen den 22.04.2017.

Etter grafene, som viser forholdene ved inokulering og algenes vekstutvikling, følger en oversikt over resultatene fra de forskjellige forsøkene på å isolere og filtrere algene fra hovedkaret, hvor det ble tatt i bruk flere forskjellige materialer og metoder. Deretter følger resultater fra algetelling og glødetapsberegninger. Vi hentet også inn lysdata fra Njøs, som er disponert av NBIO, for å studere lysets innvirkning på algekulturen.

Inokulering

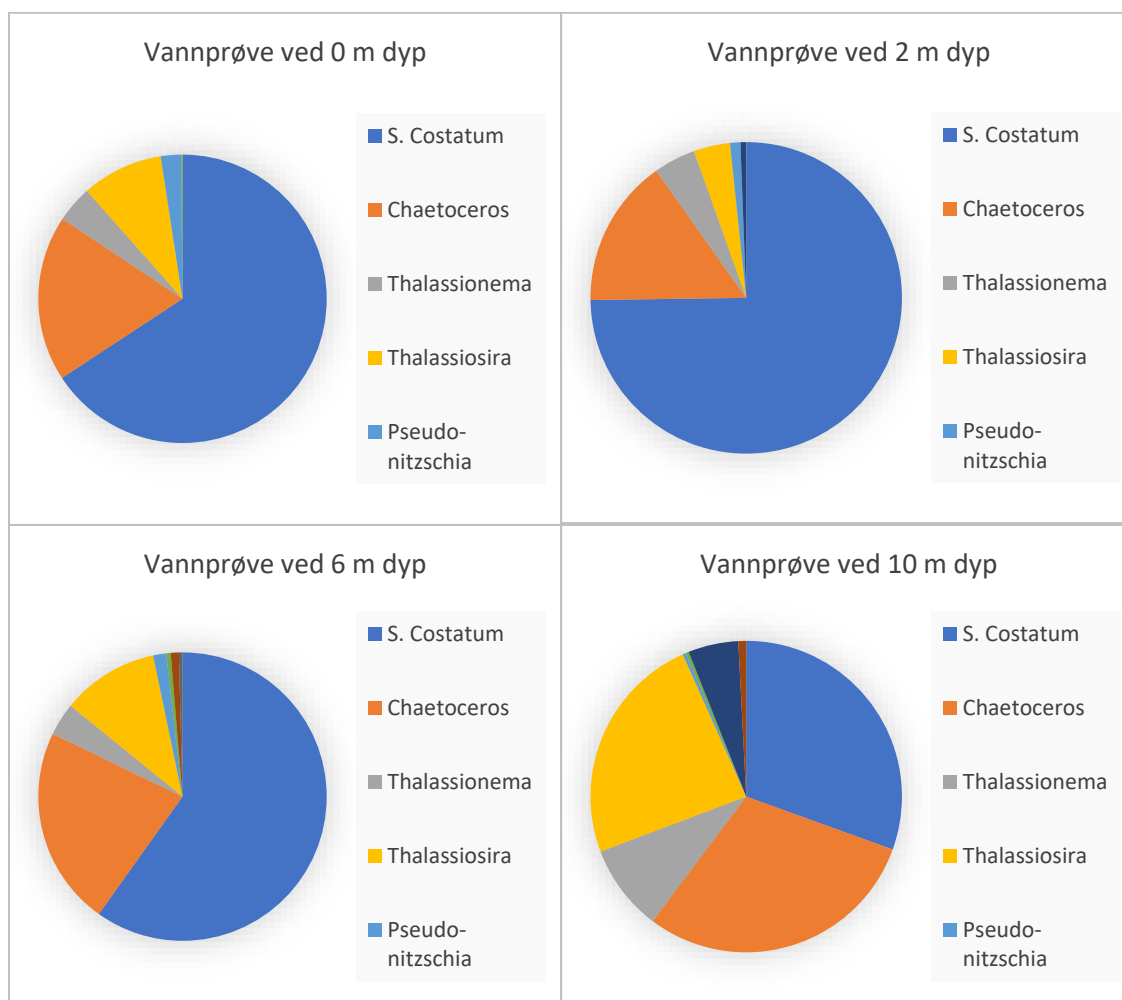
Prøver fra inokulat og våroppblomstring i fjorden

Måling med Sechhiskiven ved algeinnsamlingen viste et siktedyp i fjorden på 10-11 m. Dette tilsier at den eufotiske sonen er på 20-22 m dyp, og at 25 m dybde er under den eufotiske sonen.

Tabell 6 viser pH-målingene ved 0-25 m dyp.

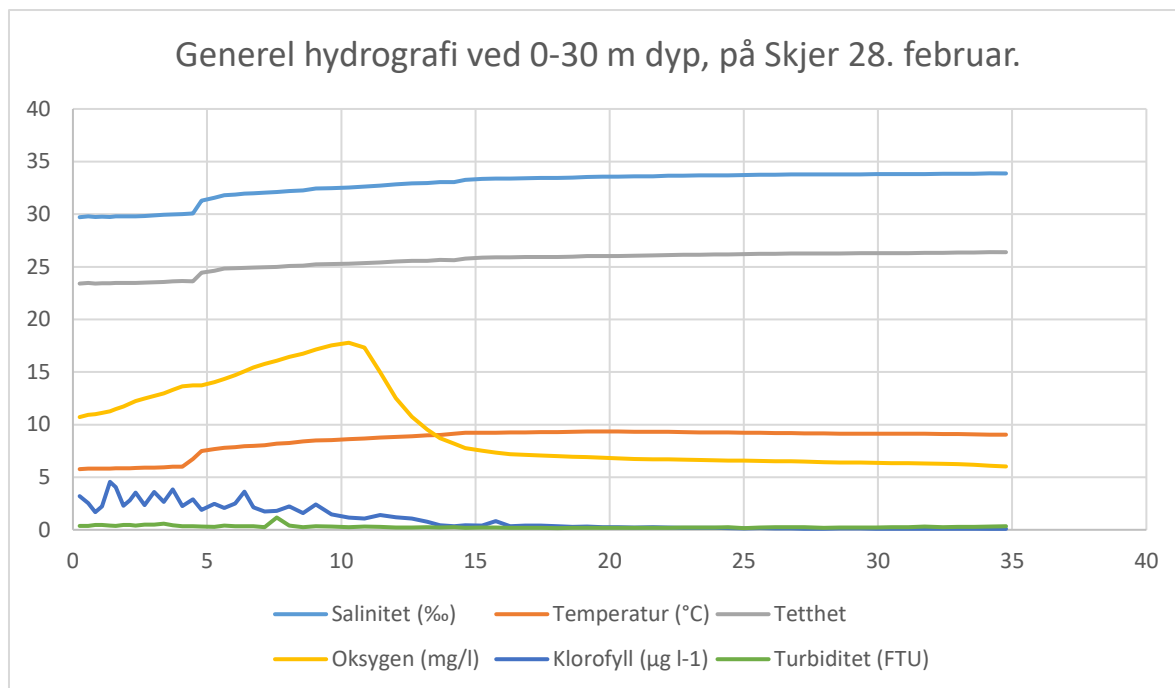
Tabell 6: pH målinger ved 0-, 2-, 6-, 10- og 25-meters dyp.

Dybde	pH nivå
0 m	7,98
2 m	7,99
6 m	7,89
10 m	7,83
25 m	7,85

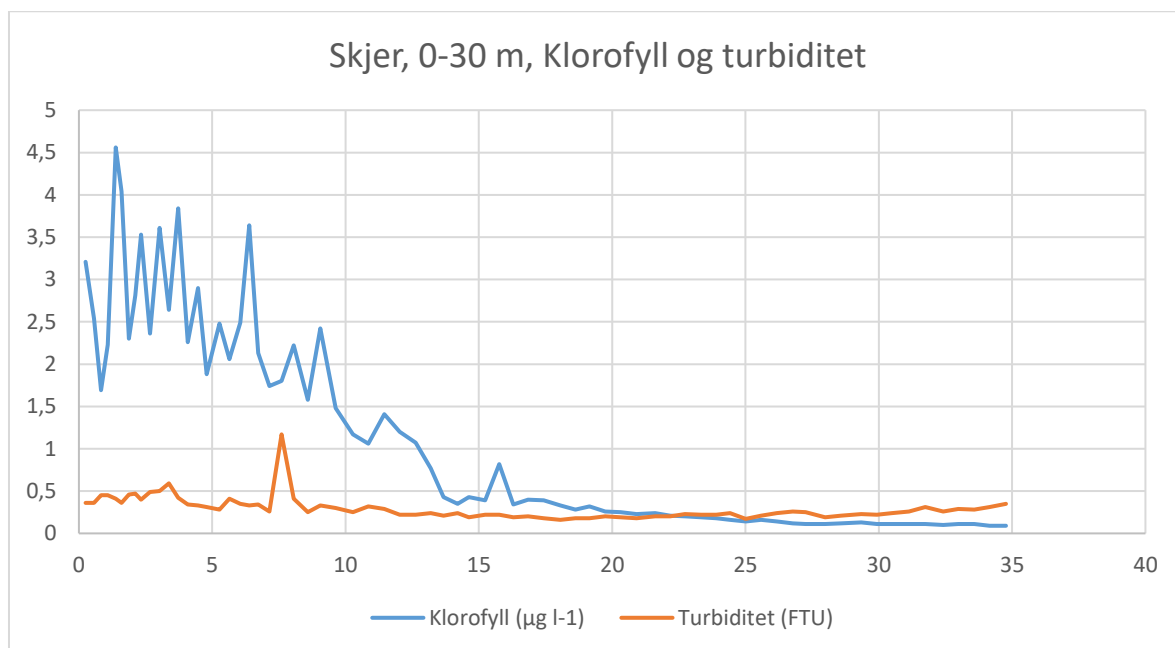


Figur 32: Fordeling av mikroalgearter ved 0 – 10 meter dyp.

Figur 32 viser fordeling av mikroalgeartene som ble funnet under telling av vannprøvene fra 0 – 10 m dyp hentet fra Sognefjorden ved akvakulturen på Skjer 28 februar, 2017.



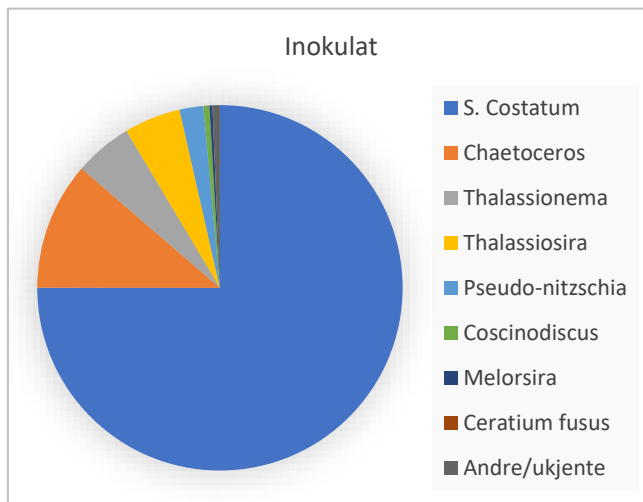
Figur 33: Generel hydrografi for sjøvannet ved Skjer, 0-30 m dyp, 28. februar.



Figur 34: Klorofyll og turbiditetsverdier for sjøvannet ved Skjer, 0-30 m dyp, 28. februar.

Figur 33 og 34 viser CTD-dybde profilen for sjøvannet ved Skjer, fra 0-30 m dyp, 28. februar.

Verdiene for klorofyll og turbiditet samsvarer med mikroalgefordelingen i vannprøvene fra 0-25 m dyp og inokulatet, som ble samlet inn på samme sted og tid. Feilmålingen på oksygen i figur 33 kommer antageligvis av at veileder glemte å fjerne oksygenringen på CTD-apparatet. (T. Dale, veileder, Personlig meddelelse, 30.05.17).



Figur 35: Fordeling av mikroalgearter i inokulat bøtte #1, 28. mars.

Figur 35 viser fordelingen av arter i inokulettet. Diagrammene i figur 32 og 35 er basert på telling av antall celler. Ettersom cellestørrelsen varierer fra art til art viser ikke diagrammene fordelingen av biomasse, kun fordelingen av antall celler. Ingen dyreplankton ble funnet i noen av prøvene.

Tellingene viser at *S. costatum* var den dominerende arten, etterfulgt av *Chaetoceros sp.* og *Thalassionema sp.*

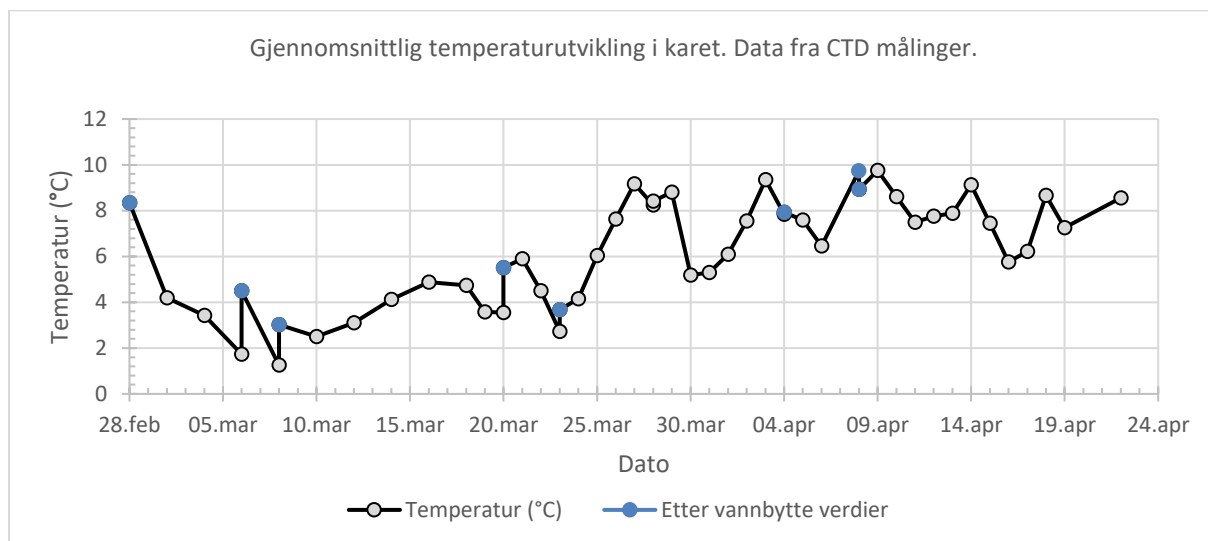
Tabell 7 viser antall celler per liter ved de forskjellige dypene. Man kan se i tabellen at mesteparten av algene oppholdt seg ved rundt 2 m dybde. I prøven fra 25 m dybde var antallet som forventet minimalt. Gjennomsnittlig antall celler per kjede for alle disse prøvene var 19,37.

Tabell 7: Antall celler l⁻¹, prøver fra Sognefjorden og inokulat bøtte #1, 28. mars.

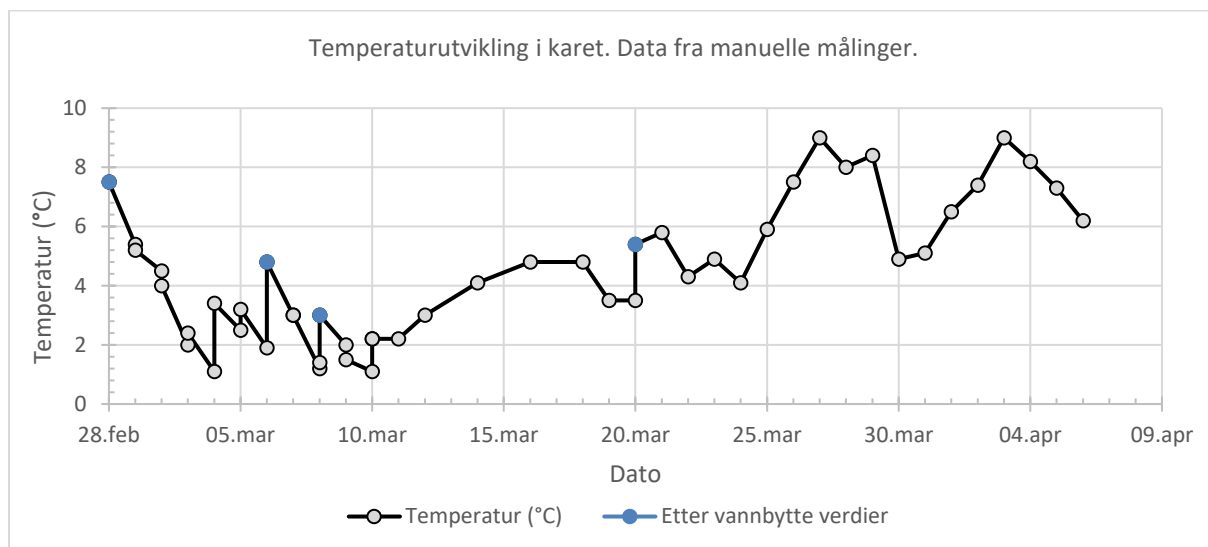
dyp	S. costatum	Chaetoceros spp.	Thalassionema spp.	Thalassiosira spp.	Ceratium fusus	Pseudo-nitzschia spp.	Coscinodiscus spp.	Melorsira spp.	Ukjente	Tot.
0.5 m	245,719	69,484	15,326	34,067	0	8,508	567	0	0	373,671
2 m	1,503,314	309,702	87,828	76,004	0	21,554	0	11,344	567	2,010,313
6 m	337,212	125,670	20,760	61,259	5,104	8,224	2,836	0	2,268	563,333
10 m	106,183	103,512	31,310	83,721	2,836	1,134	1,134	18,139	0	347,969
25 m	16,335	0	0	0	1,134	0	1,134	0	0	18,603
Inokulat	8,081,041	1,218,388	552,614	538,149	0	226,886	56,722	28,361	70,902	10,773,063

Kultivering

Temperatur



Figur 36: CTD-målt gjennomsnittlig temperaturutvikling i hovedkaret, fra 28. februar til 22. april.



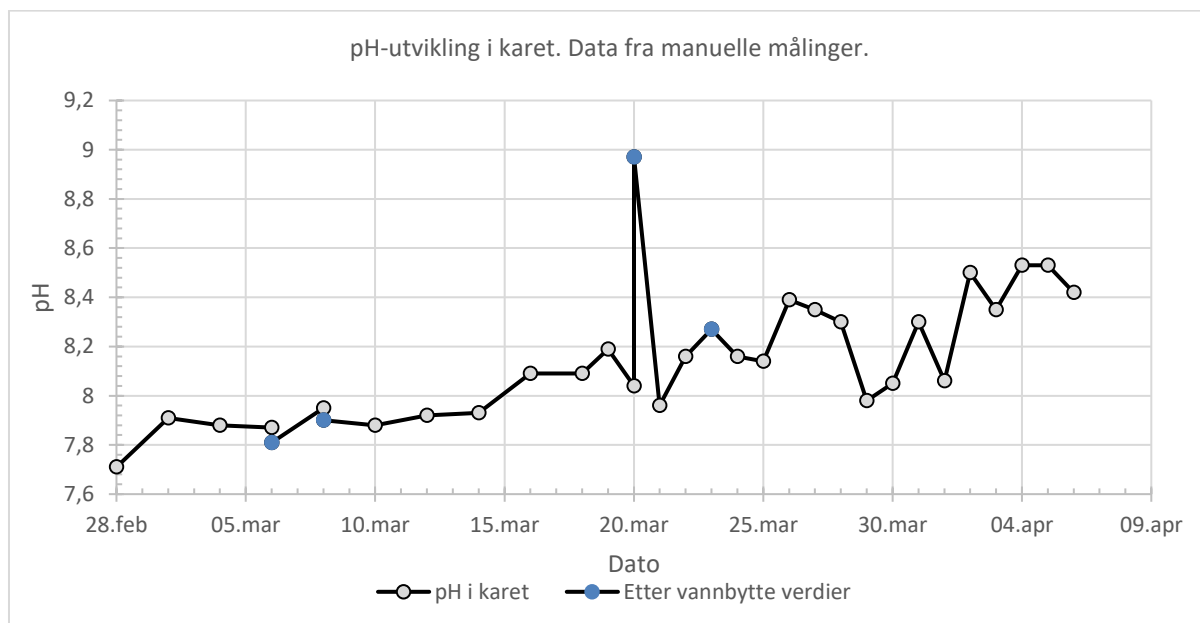
Figur 37: Manuelt målt temperaturutvikling i hovedkaret, fra 28. februar til 06. april.

Figur 36 og 37 viser temperaturutviklingen i hovedkaret i løpet av hele eksperimentperioden. Karet startet 28. februar med en temperatur på rundt 8 °C (8,3 °C målt av CTD, 7,5 °C målt manuelt), bestående av vann fra 100 meters dyp, men sank til underkant av 2 °C den 06. mars.

Etter et vannbyttet på 50 % av karvolumet den 06. mars, økte temperaturen til 4,5 °C for så å synke til 1,9 °C den 08. mars. Dette nødvendiggjorde enda et slikt vannbytte, denne gang på 30 % av karvolumet. Det største registrerte temperaturfallet på en natt skjedde mellom 29. og 30. mars, og var på 3,9 °C (figur 36).

Oppgangen i temperatur utover eksperimentet var en naturlig faktor av et skifte i årstider, fra vinter til vår. Startsverdien og *etter vannbytte verdiene* indikerer at temperaturen på 100 meters dyp i fjorden ligger på rundt 8 °C. Variasjonen i temperaturoppgangen ved vannbytte kommer hovedsakelig av mengden vann som ble byttet ut.

pH

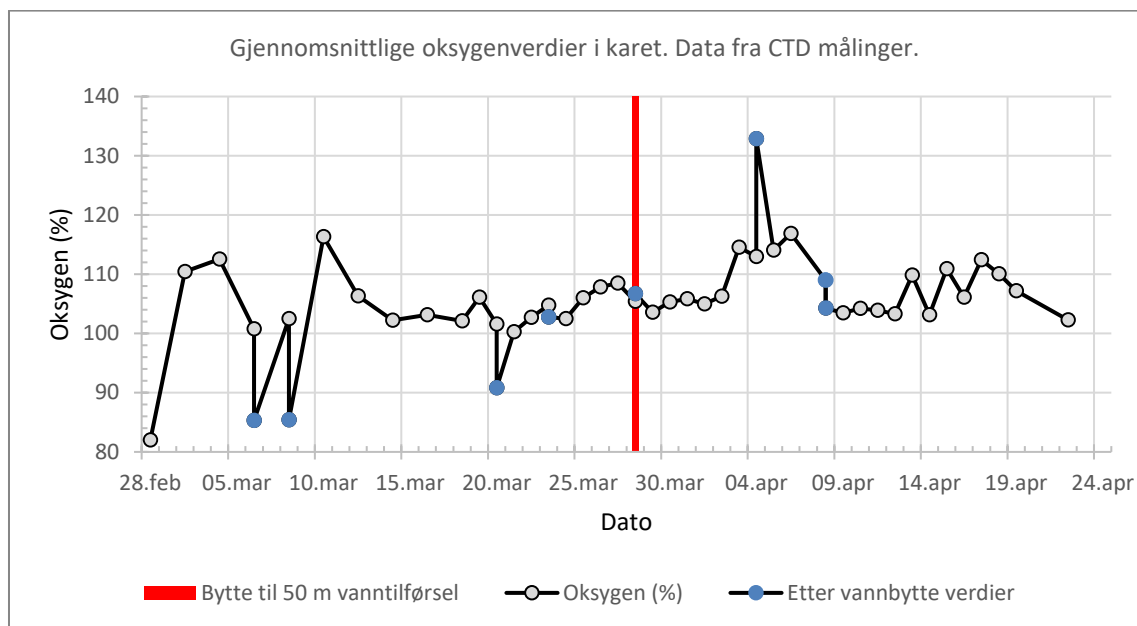


Figur 38: Manuelt målt pH-utvikling i hovedkaret, fra 28. februar til 06. april.

Figur 38 viser resultatet fra pH målingene i løpet av eksperimentet. I begynnelsen ble det tatt pH målinger både før og etter vannbytte, men senere mangler dette for vannbyttet 28. mars og 04. april. 23. mars ble det også bare tatt pH måling etter vannbytte, da det ble oppdaget en krasj i algekulturen tidlig på dagen, og det ellers ikke var planlagt å ta prøver av vannet den dagen.

Hvor tidligere vannbytter førte til en nedgang i pH, ble det 20. mars derimot målt et avvik med en uvanlig sterk økning i pH i vannet, fra 8,04 før vannbytte til 8,97 etter vannbytte. Her steg da tilsynelatende pH med 0,93. Neste dag var pH sunket til en mer normal verdi på 7,96, som tyder på feilmåling dagen før. En forklaring for feilmålingen den 20. april kan være loggskrivingsfeil.

Oksygen



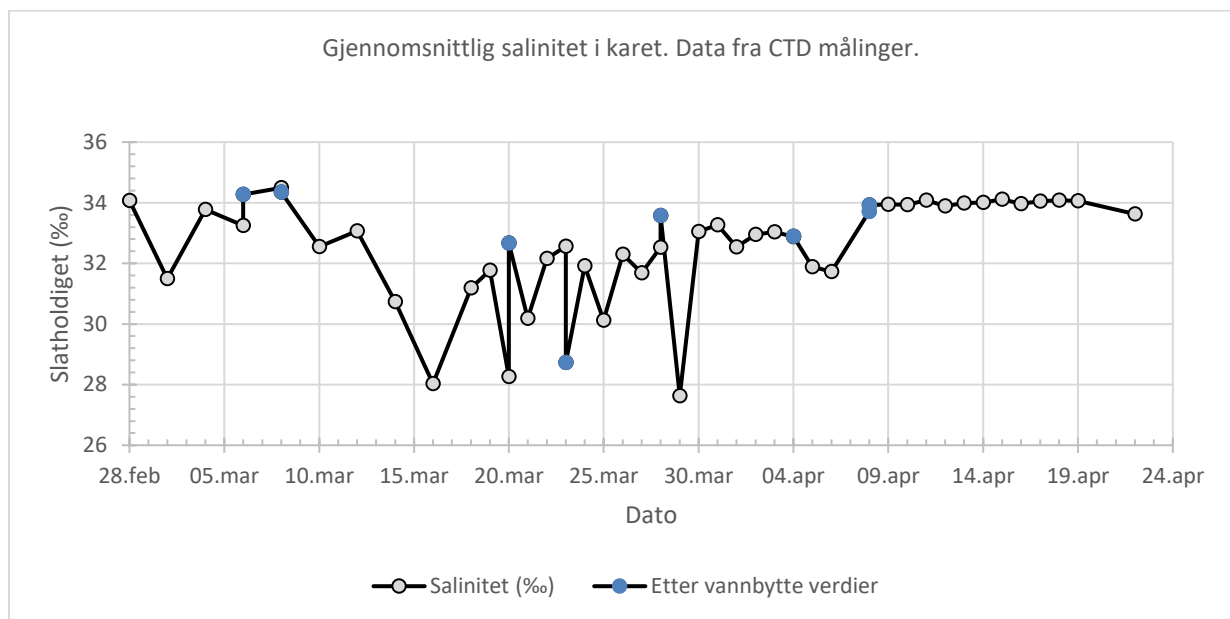
Figur 39: CTD-målt gjennomsnittlig oksygenutvikling i hovedkaret, fra 28. februar til 22. april.

Figur 39 viser oksygeninnholdet i vannet i %, hvor «100 %» tilsvarer oksygenmetningen som vann har ved likevekt med luft. Høyere verdier viser tilførsel, for eksempel fra fotosyntese. Lavere verdier skyldes forbruk, for eksempel respirasjon av vannets organismer. Oksygen metning i luft er omtrent 20,95 % (Dannevig, 2009). Oksygeninnholdet i vannet synker ved vannbytte med vann fra 100 meters dyp, 06., 08. og 20. mars, da oksygeninnholdet i vannet er mye lavere på dette dypet. Her var vannbyttene på henholdsvis 50 %, 30 % og 50 % av karvolumet.

Vannbyttet 23. mars var bare på 13 %, som så gav lite utslag i oksygennivået i vannet. 28. februar var vannbyttet på hele 80 %, men på grunn av mangel på tilgang til 100 meters vann, måtte det fra denne dagen utelukkende tas i bruk vann fra 50 meters dyp. Dette gav et mye mindre utslag på oksygennivået i vannet. Dette er fordi dette vannet får oksygentilførsel, da det er ment til bruk for oppdrett av rognkjeks.

Utenom verdiene tilknyttet vannbytte, og avviket 04. april, ble oksygenverdiene gjennom hele eksperimentet målt til å være godt over 100 %, som indikerte at det var en god lufttilførsel og en aktiv fotosyntese gjennom hele prosessen.

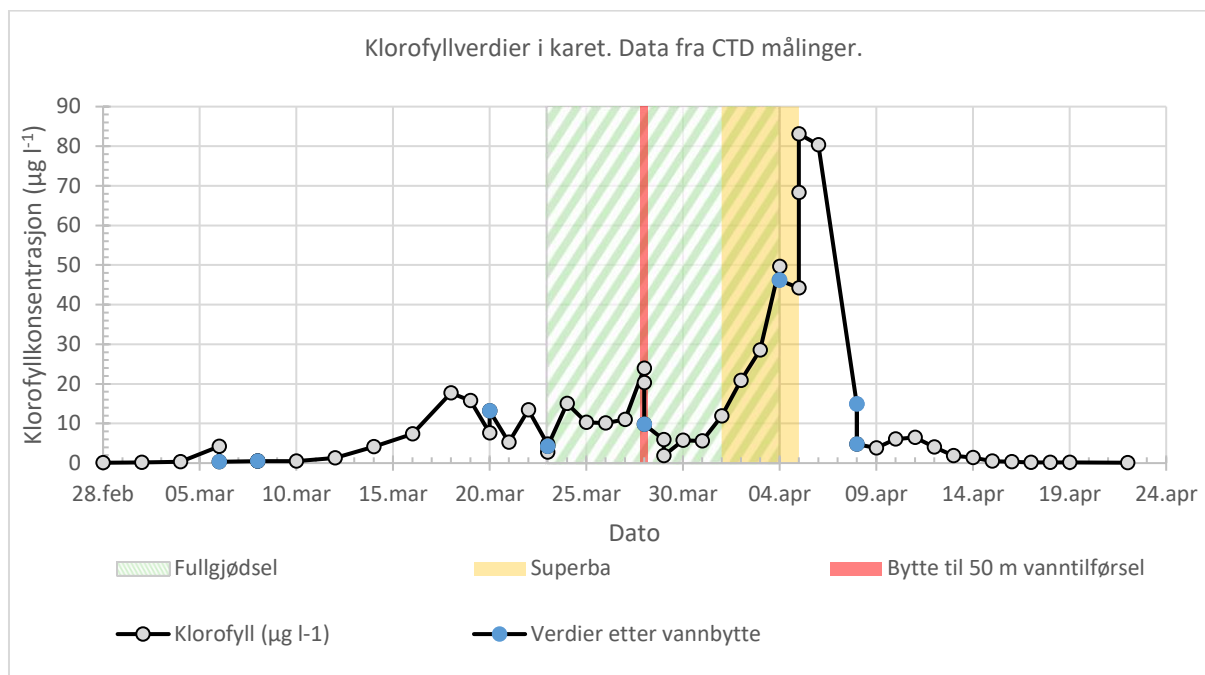
Salinitet



Figur 40: CTD-målt gjennomsnittlig salinitetsutvikling i hovedkaret, fra 28. februar til 22. april.

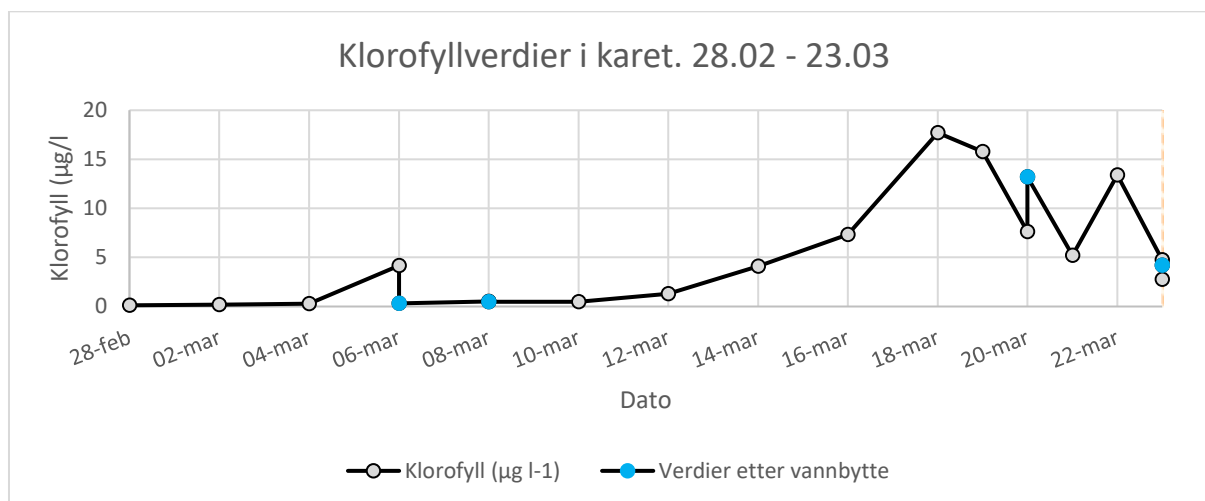
Figur 40 viser salinitetsverdiene i vannet, målt i promille (‰). De ustabile målingene, med plutselige fall, var sannsynligvis resultat av nedbør eller feilmålinger. De mer stabile målingene etter vannbyttet 08. april, på rundt 34 ‰, er muligens en indikasjon på de mer reelle salinitetsverdiene i vannet. De stemmer også overens med målingen tatt 28. februar, og resultatene til Bjørndal *et al.* (2016), som hadde en salinitet rundt 34,5 ‰.

Klorofyll, algeoppblomstringer og vekstrater



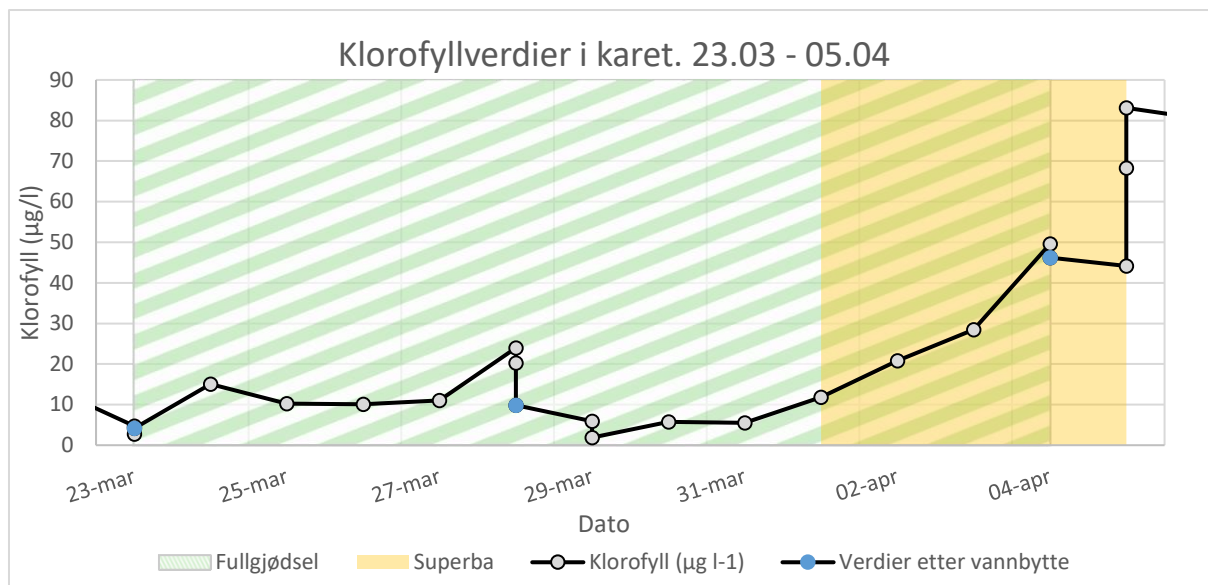
Figur 41: CTD-målt gjennomsnittlig klorofyllutvikling i hovedkaret, fra 28. februar til 22. april.

Figur 41 viser klorofyllutviklingen i algekulturen for hele tidsrommet kultiveringen varte. Høyeste oppnådde klorofyllverdi ble målt 5. april, og var $83,12 \mu\text{g l}^{-1}$. 5 ulike oppblomstringer av kulturen kan ses i grafen, hvor de har sine toppunkt 06. mars 18. mars, 28. mars, 05. april og 11. april.



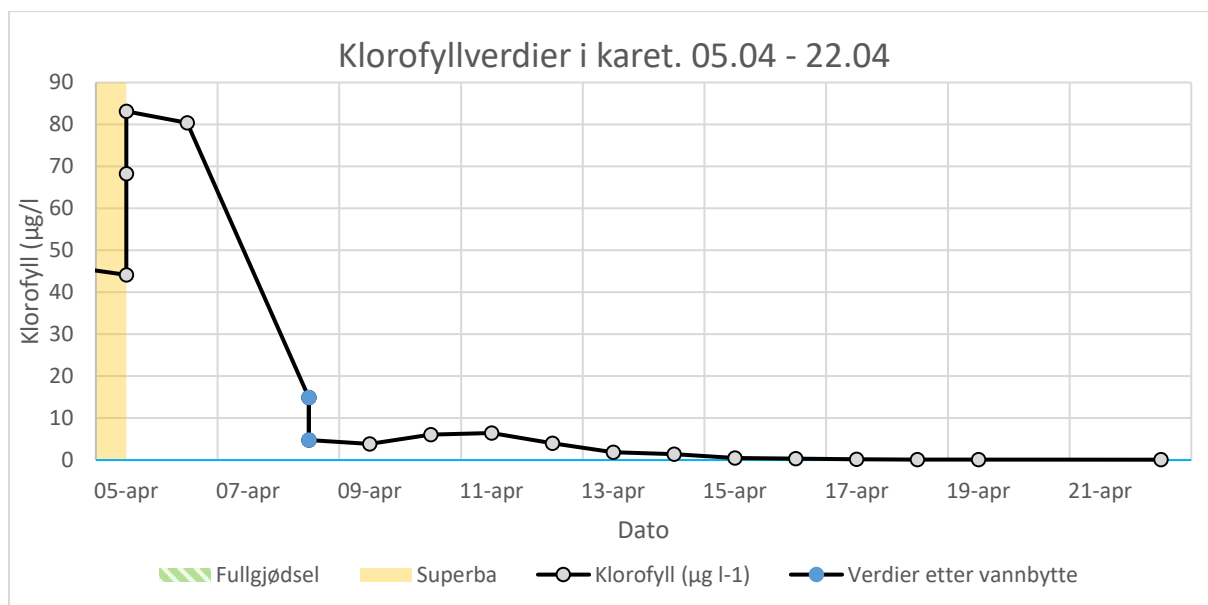
Figur 42: Klorofyllverdier i hovedkaret, fra 28. februar til 23. mars.

Figur 42 gir et nærmere blikk på første del av kultiveringen, hvor det ikke ble tilsatt næringsalter. På første dag av eksperimentet ble de gjennomsnittlige klorofyllverdiene målt til $0,107 \mu\text{g l}^{-1}$. Den første oppblomstringen kom etter 5-6 dager, og rakk å nå $4,17 \mu\text{g l}^{-1}$ 6. mars, før et vannbytte, som ble gjort på grunn av lave temperaturer, satte en stopper for den. Den andre oppblomstringen kom 18. mars og nådde $17,72 \mu\text{g l}^{-1}$ klorofyll l^{-1} før den kollapset.



Figur 43: Klorofyllverdier i hovedkaret, fra 23. mars til 05. april.

Figur 43 viser den midterste perioden, 23. mars til 05. april, hvor næring ble tilsatt. Det var i denne perioden vi oppnådde de høyeste klorofyllverdiene. Tredje oppblomstring nådde en topp 28. mars målt til $23,94 \mu\text{g l}^{-1}$ før kollaps. Etter gradvis utprøving av Superba sammen med Fullgjødning steg de gjennomsnittlige klorofyllverdiene kraftig, og vi fikk den fjerde oppblomstringen som nådde eksperimentets toppunkt på $83,12 \mu\text{g l}^{-1}$.



Figur 44: Klorofyllverdier i hovedkaret, fra 05. april til 22. april.

Figur 44 viser siste del av kultiveringen. Den 06. april ble filtrering gjennomført, og aktiv kultivering avsluttet. To vannbytter ble gjort som førte til at klorofyllnivået kom på $4,76$ 08. april. Noen dager

senere var det en liten oppblomstring opp til $6.47 \mu\text{g l}^{-1}$ før det hele kollapset for godt, og endte opp på rundt $0,9 \mu\text{g l}^{-1}$ den siste dagen av prosjektet, 22. april.

Tabell 8 viser vekstratene i utvalgte tidsrom. Alle disse er valgt med tanke på oppblomstringene, hvor startdato er satt til rett etter vannbytte, fram til sluttdato som dagen hvor oppblomstringen hadde høyest klorofyllkonsentrasjon. Høyeste vekstrate var under den første oppblomstringen.

Tabell 8: Vekstrater i karet.

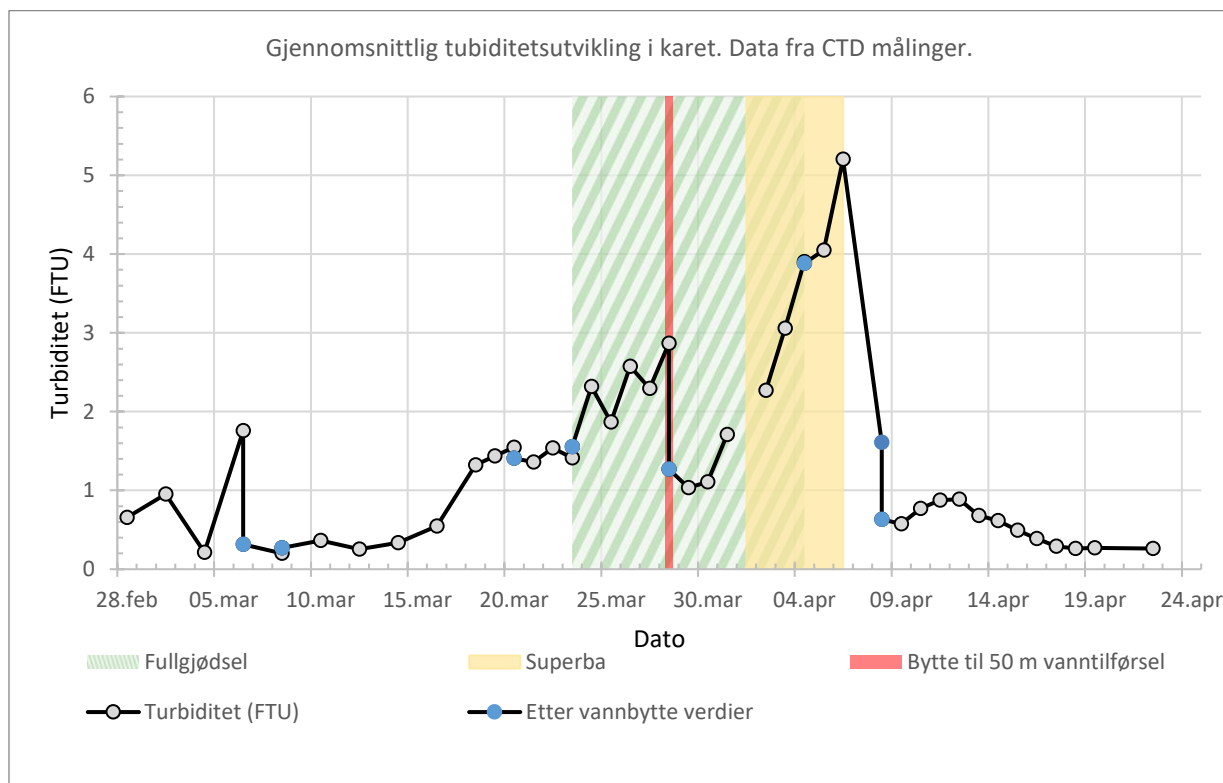
#	Dato		Klorofyll ($\mu\text{g l}^{-1}$)		Specific growth rate	Doblingsrate (dager per dobling l^{-1})	Delingsrate (delinger per dag)
	fra	til	fra	til			
1	28-Feb	06-Mar	0.107	4.17	0.61	1.135	0.88
2	08-Mar	18-Mar	0.49	17.72	0.358	1.931	0.517
3	23-Mar	28-Mar	4.2	23.94	0.348	1.991	0.502
4	29-Mar	05-Apr	1.86	83.12	0.542	1.276	0.783
5	08-Apr	11-Apr	4.76	6.47	0.102	6.775	0.147

Tabell 9: Høyeste observerte vekstrater i karet i løpet av prosjektet, sortert etter dato og gjødslingsperiode.

Gjødslingsperiode	Dato		Klorofyll ($\mu\text{g l}^{-1}$)		Vekstrate
	fra	til	fra	til	
Uten gjødsling	04-Mar	06-Mar	0,298	4,171	1,261
Uten gjødsling	21-Mar	22-Mar	5,22	13,39	0,864
Kun Fullgjødsel	23-Mar	24-Mar	2,76	15,04	1,374
Kun Fullgjødsel	27-Mar	28-Mar	11,03	23,94	1,042
Kun Fullgjødsel	29-Mar	30-Mar	1,86	5,77	1,132
Blanding av F og S	01-Apr	02-Apr	11,8	20,84	0,564
Blanding av F og S	01-Apr	03-Apr	11,8	28,5	0,432
Blanding av F og S	01-Apr	04-Apr	11,8	49,64	0,477
Blanding av F og S	03-Apr	04-Apr	28,5	49,64	0,554
Kun Superba	04-Apr	05-Apr	46,18	83,12	0,556
Uten gjødsling	09-Apr	10-Apr	3,82	6,03	0,447

I tabell 9 er den høyeste vekstraten for hver gjødslingsperiode markert med fet skrift. Tidsrommet 23. til 24. mars har den høyeste vekstraten med 1,374. SGR.

Turbiditet

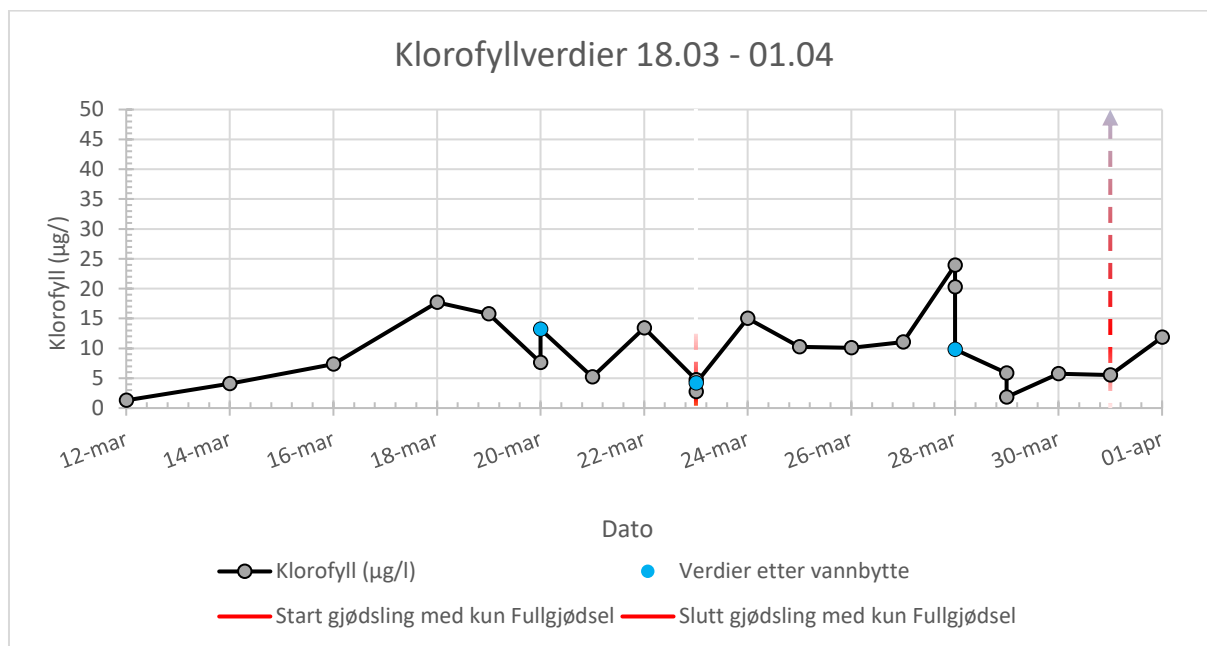


Figur 45: CTD-målt gjennomsnittlig turbiditetsutvikling i hovedkaret, fra 28. februar til 22. april

Figur 45 viser turbiditeten i algekulturen i løpet av eksperimentet. Nivået varierte mye, men holdt seg for det meste i takt med endringene i klorofyll. Den laveste gjennomsnittlige målingen var på 0,21 FTU, 04. mars, og bortsett fra et mulig tilfelle av feilmåling var den høyeste målingen på 5,20 FTU, 06. april.

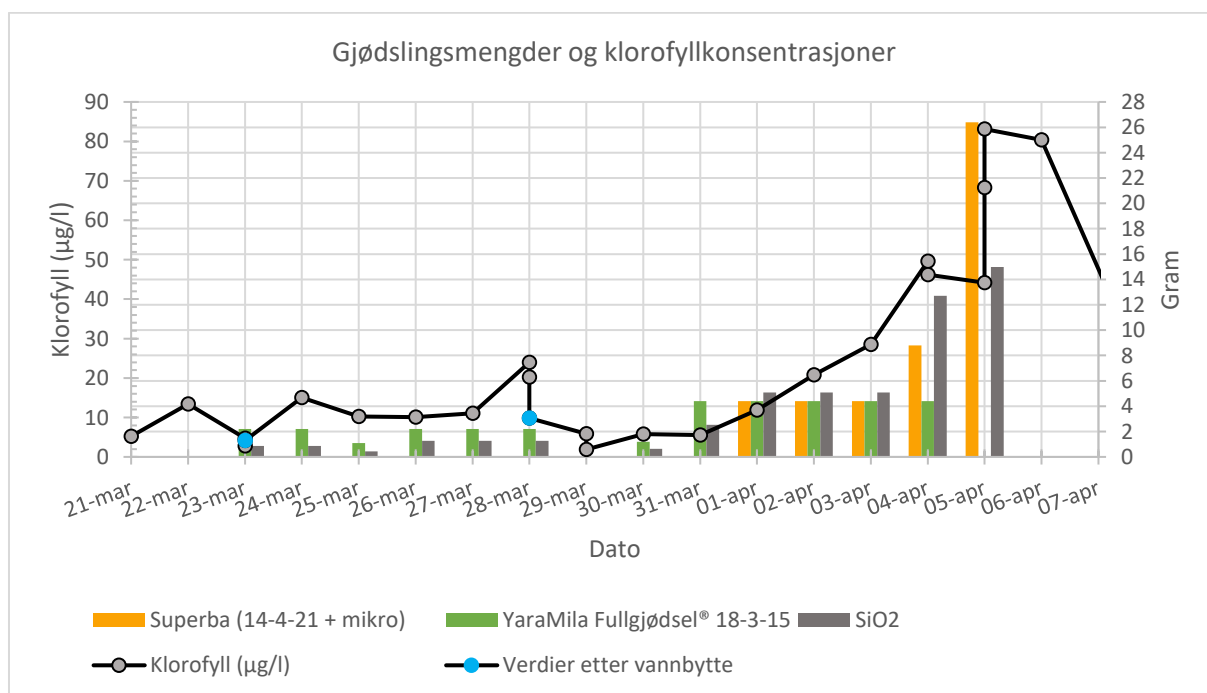
Unntaket er målingen 01. april, som viste en gjennomsnittlig turbiditetsverdi på 34,16 FTU. Et så stort avvik i forhold til den etablerte trenden indikerte at det var gjort en feilmåling av typen der en klump med store partikler festet seg til turbiditetssensoren på CTD maskinen. Denne målingen er derfor fjernet fra grafen over. Målingen 7. mars er også unaturlig høy og tyder på tilsvarende feilmåling. Fallet i turbiditetsverdier mellom 06.- og 8. april kommer av nedtappingen til 8 cm, og vanntilførselen i etterkant.

Næringstilsetninger



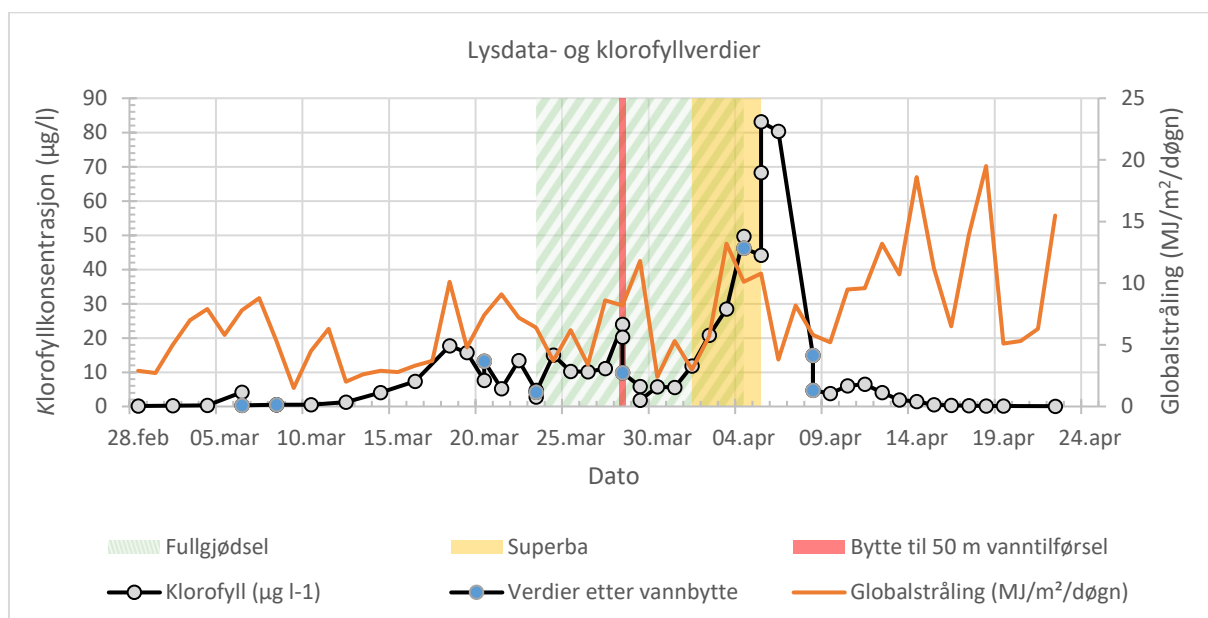
Figur 46: Klorofyllverdier før og etter start av gjødsling med Fullgjødsel.

Som grafen i figur 46 viser, førte ikke tilsetning av Fullgjødsel til de helt store resultatene . Klorofyllverdiene nådde knapt høyere verdier enn i perioden før hvor ingen næring ble tilsatt. Høyeste registrerte verdi var 23.94 µg l⁻¹, mot en topp på 17.72 µg l⁻¹ i perioden uten næringstilsetning. 28 mars ble vannbytte utført på grunn tegn til kollaps i kulturen, og 2 dager etter var klorofyllinnholdet helt nede på 1.86 µg l⁻¹.



Figur 47: Klorofyll sammenlignet med tilsatt næring.

Figur 47 viser hvordan klorofyllkonsentrasjonen utviklet seg i forhold til mengder tilsatt gjødsel. Som man kan se tok produksjonen seg opp først når Superba ble introdusert. For perioden med kun fullgjødsel, fra oppstart 23. mars til toppnivå klorofyll 28. mars, er vekstraten 0.348 (Specific growth rate/SGR), noe som gir en doblingsrate (dager per dobling l^{-1}) på 1.991. For tilsvarende periode etter oppstart med Superba, fra 1. april til toppunktet 5. april, er disse tallene 0.486 SGR og 1.432 dager per dobling l^{-1} . Gjødslingsdosen 1. april var rundt fire ganger høyere enn anbefalt i forhold til klorofyllnivå denne dagen. Denne doseringen ble holdt på samme nivå til og med 03. april, ettersom det skulle være mer enn nok. Da veksten så ut til å stagnere 5. april, besluttet vi å gjødsle 12 doser Superba for å sikre nok næringsalter til en god vekst og høyt klorofyllnivå til elektroforesen og filtreringen som skulle skje dagen etterpå. Kulturen så ut til å respondere positivt på dette, og steg fra $53 \mu\text{g } l^{-1}$ på gjødslingstidspunktet til $83 \mu\text{g } l^{-1}$ i løpet av kvelden.

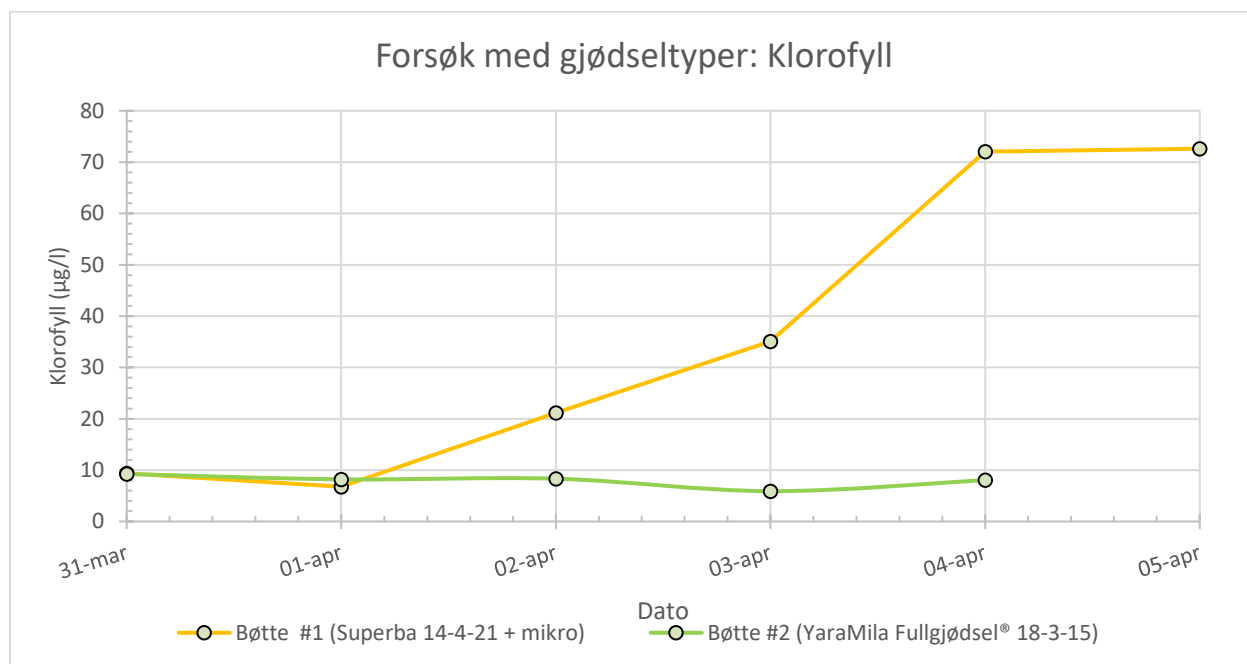


Figur 48: Sammenligning av lysdata- og klorofyllverdier. Lysdata fra Njøs (NIBIO, 2017).

Figur 48 viser lysdata over eksperimentperioden og algekulturens respons på lys og gjødsling.

Sammenlignende forsøk av Superba og Fullgjødning

CTD - data



Figur 49: Klorofyllnivå i bøttene med ulike gjødsels typer, 31.03 – 05.04.

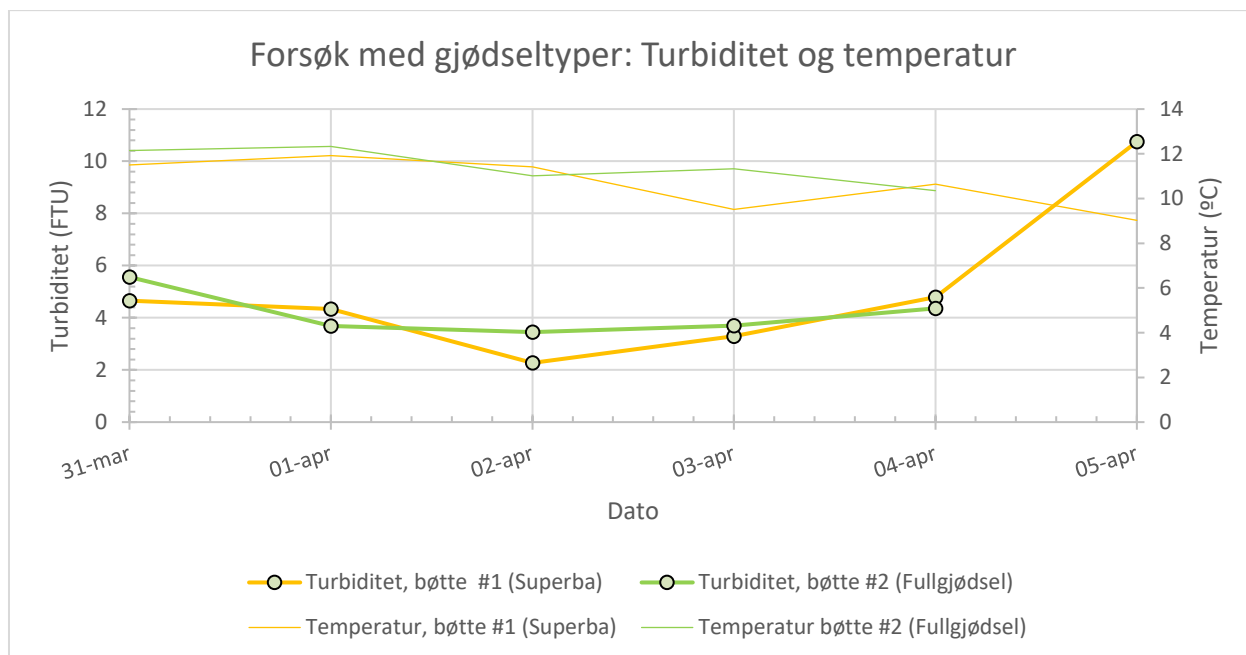
Tabell 10: Vekstrater i bøttene for perioden 31.03-04.04

Bøtte #	Dato		Klorofyll ($\mu\text{g l}^{-1}$)		Specific growth rate (SGR)	Doblingsrate (dager per dobling l^{-1})	Delingsrate (delinger per dag)
	start	slutt	start	slutt			
1	31-Mar	04-Apr	9,35	72,03	0,51	1,359	0,735
2	31-Mar	04-Apr	9,24	8,07	-0,03		-0,048
1	01-Apr	04-Apr	6,77	72,03	0,788	0,879	1,268
1	01-Apr	02-Apr	6,77	21,16	1,195	0,58	1,724

Som grafen i figur 49 viser så var det Superba som utmerket seg med $72.1 \mu\text{g l}^{-1}$ klorofyll etter 4 dager i bøtte # 1, og nådde taket på hvor høyt CTD instrumentet klarer å måle den femte dagen som er på $73.33 \mu\text{g l}^{-1}$. Som man kan se i tabell 10 var vekstraten (SGR) i denne bøtten 0.788, og doblingsraten på 0.879 dager per dobling l^{-1} . Dermed er det ikke usannsynlig at klorofyllnivået var opp mot $150 \mu\text{g l}^{-1}$ den siste dagen, men dessverre ble ikke vannet tynnet ut før siste måling. Bøtte # 2 med fullgjødning endte opp $1.17 \mu\text{g l}^{-1}$ under utgangspunktet på dag 1. 31 mars og 1 april ble det gjort 2 målinger i hver bøtte, grafen viser gjennomsnittet av de to. 5. april glemte vi å ta CTD måling av bøtte #2, så derfor mangler det data for denne dagen.

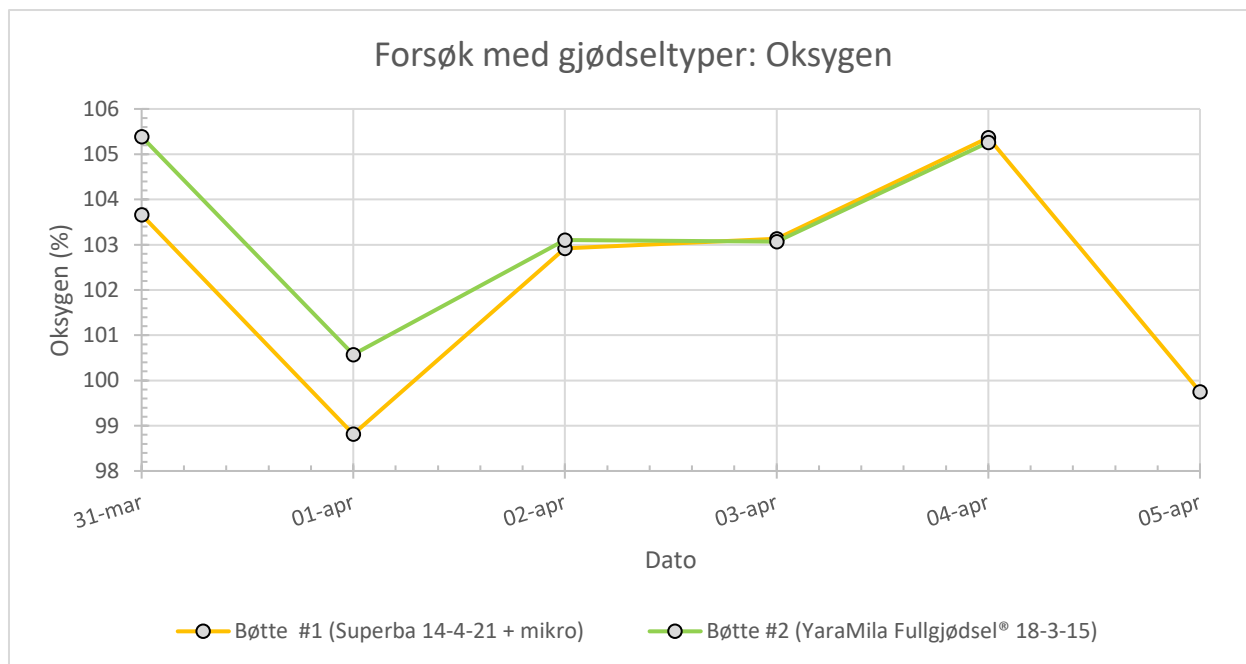
Forskjellen var også visuelt tydelig fra dag 3 og utover. Bøtte # 1 fikk en mørkebrun farge mens bøtte # 2 var mer eller mindre som ved dag 1. Vi la også merke til at vi kunne se en god del alger i bøtte #2

som var grå/hvite, som vi antok var døde alger uten klorofyll. Senere telling av vannprøver bekreftet at det var mye døde og tomme alger i bøtte # 2.



Figur 50: Turbiditet og temperatur i bøttene

Figur 50 viser temperatur og turbiditet gjennom forsøket. Det er verdt å merke seg at turbiditet i begge bøttene ligger på omtrent samme nivå 4. april, da forskjellen i klorofyll mellom de to var på $60 \mu\text{g l}^{-1}$. Sammenlignet med hovedkulturen i karet så var temperaturen i bøttene noen grader høyere i perioden 31.03 – 04.04. Forskjellen den første dagen skyldes at det ble tilsatt 2 liter varmt vann, mens de andre dagene skyldes det sannsynligvis termisk treghet, et stor kar med 7 m^3 vann bruker mye lengre tid på å nå samme temperatur som omgivelsene sammenlignet med en svart bøtte med 12 l.



Figur 51: Oksygeninnhold i bøtte #1 og #2

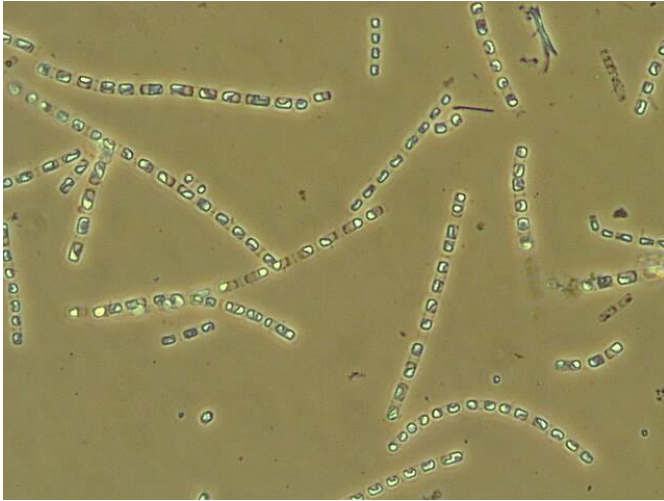
Figur 51 viser oksygeninnhold over de 5 dagene eksperimentet foregikk. På første måling 31 mars forventet vi at verdiene skulle være like, mens dataene viser en forskjell på 2 %. Dette kan komme av forskjeller i temperatur og risting av tilsatt gjødselvann, eller forskjell på intensiteten av omrøringen før målingene ble tatt.

Algetelling

Tabell 11: Antall alger og celler per liter i bøtte # 1

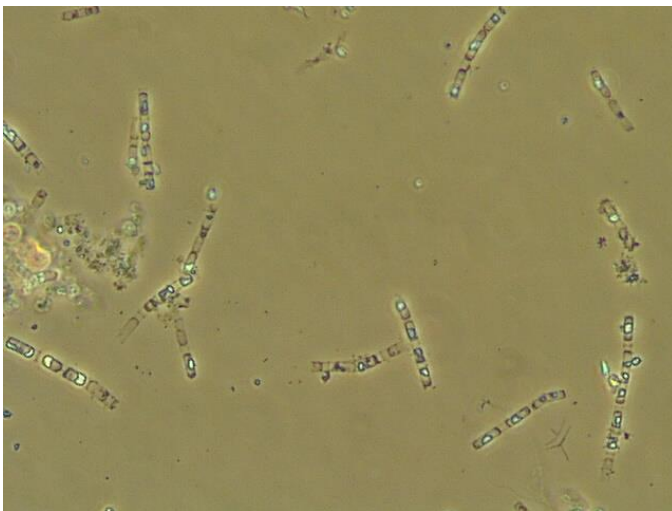
Dato	S. costatum				Tot. andre arter	
	Antall kjeder	Gj.snitt celler/kjede	Antall celler	%	Antall celler	%
04-Apr	45 943 200	6.8	312 413 760	99.63	170 160	0.37

Tabell 11 viser antall alger og celler per liter i bøtte #1. Telling ble ikke gjort for bøtte # 2.



Figur 52: *S. costatum* i vannprøven fra bøtte # 1, tatt gjennom mikroskop med 200x forstørrelse

Figur 52 er et bilde tatt gjennom mikroskop av vannprøven fra bøtte #1. De fleste cellene så normale ut, men noen få celler i vannprøven mangler klorofyll, og noen hadde antydning til litt reduserte mengder. På grunn av en misforståelse ble det brukt for lite fikseringsmiddel i begge vannprøvene, dette kan ha ført til nedbrytning under lagring. Omtrent lik mengde fikseringsmiddel ble brukt i prøvene fra hver bøtte.



Figur 53: *S. costatum* i vannprøven fra bøtte # 2, tatt gjennom mikroskop med 200x forstørrelse

Figur 53 viser algene i vannprøven fra bøtte #2. Det virket som om de kommet for langt i nedbrytningsprosessen til at de kunne telles. Det var mange døde og helt tomme celler, og klorofyllmengden i de fleste levende cellene var redusert. Som kan ses i venstre kant av bildet, var det i tillegg mange store klumper med flokkulerte, delvis nedbrutte alger og annet udefinert grums. Dette gjorde prøven vanskelig å telle.

Konsentrering

Filtrering

Prototype for mikrometerduksfiltrering

22.03.17. Det samlet seg kun neglisjerbare mengder masse i filterdukene da vannet fra 100 meters dyp hadde lite alger. Prototypen ble beregnet til å håndtere en vannmengde tilsvarende 276 l/t (tabell 12).

Tabell 12: Resultat som viser vanngjennomstrømming per minutt og for testperioden.

Målt antall l/min	Beregnet antall liter for testperioden
4,6	46

Stack filter

06.04.17. På 30 minutter filtrerte stack filteret 14 liter algevann i en hastighet på 2,93 liter per minutt (tabell 13). Veiingen av innsamlingsutstyret før og etter filtreringen viste en samlet våtvekt på 34,41 gram (tabell 14), hvor mesteparten var samlet opp i stack filterets mellomplate, med et 63 µm filter.

Tabell 13: Filtreringsmengde og filtreringshastighet

Tid	Info	Vannstand i 18-liters bøtte
16:35	Startet filtrering	18 liter
17:06	Stoppet filtrering	4 liter
Sum filtreringsvolum		14 liter
Filtreringshastighet		2,93 liter per minutt

Tabell 14: Vekt av utstyr før og etter filtrering, samt våtvekt. Fra 14 liter filtrert algevann.

Utstyr veid på elektronisk vekt	Vekt før test	Vekt etter test	Sum våtvekt
125 µm filter, topplate	272,73 g	277,18 g	4,45 g
63 µm filter, mellomplate	259,98 g	280,98 g	21,00 g
Bunnplate der den filtrerte væsken renner ut.	521,30 g	Ikke målt	
18 liters bøtte med 20 µm filter	561,30 g	570,26 g	8,96 g
Sum våtvekt			34,41 g

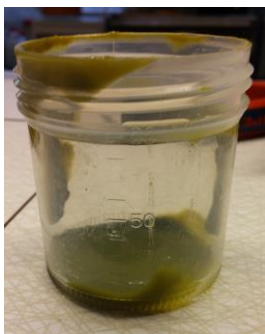
Storskala forsøk

Mikrometerduksfiltrering i stablede bøtter

28.03.17

Etter veiing viste det seg at våtvekten som filterduken på 20 μm hadde samlet opp, var 5,00 g.

Algeprøven (figur 54) ble tatt vare på og plassert i et temperaturregulert skap. Fargen på prøven var grønn, noe som kan være en indikasjon på at celleveggene i algene har blitt ødelagt i filtreringsprosessen siden vi klemte ut litt vann. Filterduken på 125 μm som ble brukt i den øverste bøtta, hadde ikke samlet opp alger som kunne påvises ved en visuell inspeksjon. Det var enighet om at algemengden som eventuelt var i denne duken, var nær null.



Figur 54: Prøve fra mikrometerduksfiltrering

Utfelling

Småskala forsøk

pH-indusert flokkulering

Ettersom salmiakkflasken bare var 1/4 full gikk den fort tom. PH nivået i Gildekassen gikk fra 8,15 til 10,24 etter gradvis tilsetning. Det ble ikke observert noen form for flokkulering eller bunnfall.

Elektroforese

Småskala forsøk

Rustfri ståltråd



31.03.17. Det ble observert en umiddelbar oksidering av ståltråden tilkoblet den positive polen og en rask gulfarging av vannet (figur 55). Det var også en sterk dannelse av hydrogenbobler langs ståltråden koblet til den negative polen.

Figur 55: Mislykket elektroforeseforsøk, pga oksidasjon.

Karbonbiter – Test 1

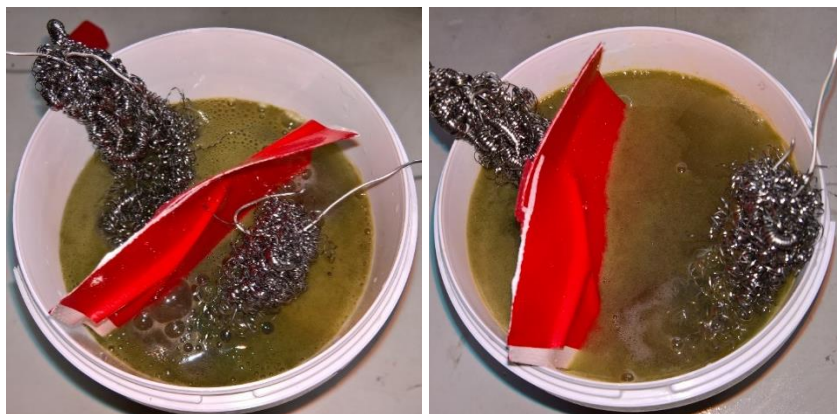
01.04.17. Det samlet seg ett tynt hvitt belegg i vannoverflaten. Det var ingen vesentlig forskjell mellom de to forsøkene (figur 56), og ingen synlig konsentrasjon av alger, hverken på vannoverflaten eller i bunn. Det større arealet i Gilde kassen gav en noe svakere dannelse av hydrogenbobler enn i boksen. Det ble hverken observert oksidering eller en synlig konsentrasjon av alger.



Figur 56: Elektroforeseforsøk med 12V batteri og karbonbiter fra en ødelagt drone. Observasjon av tynt hvitt belegg.

Rustfri stålskrubb – Test 1

02.04.17. Den første testen resulterte i et tykt grønt belegg på overflaten, som tydet på at cellene hadde sprukket og at celleinnholdet hadde lekket ut i vannet (figur 57). Det ble dermed utført en kontrolltest. Kontrolltesten gav en veldig lik konsentrasjon av det grønne belegget, om noe mer brunt. Det var også usikkert om det brune belegget var oksidering eller alger.



Figur 57: Stålskrubb forsøk nr. 1 (t.v.) og nr. 2 (t.h.). Kontrolltesten med filtrert vann gav lite utslag.

Karbonbiter – Test 2

02.04.17. Noe av karbonbiten begynte umiddelbart å smelte, og det ble konkludert at det muligens var et tynt lag med plast på utsiden av materialet. Forsøket ble avbrutt.

Rustfri stålskje



02.04.17. Biten av skjeen tilkoblet den positivt ladde siden begynte umiddelbart å oksidere (figur 58). Forsøket ble avbrutt.

Figur 58: Forsøk med rustfri stålskje

Rustfri stålskrubb – Test 2

02.04.17. Stålskrubben koblet til den positivt ladde polen gikk i oppløsning, med mye bunnfall. Det var et klart skille mellom en grønn væske på den positive siden og en mer brun og klarere væske på den negative siden (figur 59).



Figur 59: Forsøk med rustfri stålskrubb i glasskrukke.

Aluminiumsfolie – Test 1

03.04.17. Strømforsyningen på 1,2 V og 73 mA resulterte i en god del bobler i vannet. Etter 10 minutter begynte det å danne seg et tynt brunt lag med alger på vannoverflaten (figur 60). Det var ingen vesentlig endring i algelaget etter 40 minutter.



Figur 60: Aluminiumforsøk nr 1. Dannelse av alger på vannoverflaten. Bilder tatt etter 10-, 20- og 40 min.

Aluminiumsfolie – Test 2

03.04.17. Det var ingen merkbar forskjell fra «aluminiumsfolie test 1» etter 20 min (figur 61). Magnetrorer utgjorde ingen synlig forskjell. Strømforsyningen på 1,2 V og 73 mA resulterte i en god del bobler i vannet, og etter 10 minutter begynte det å danne seg et tynt brunt lag med alger på vannoverflaten.



Figur 61: Aluminiumforsøk nr 2. Bilder tatt ved start, og etter 20 min

Aluminiumsfolie – Test 3

03.04.17. Dobbel amperestyrke gav mer bobler, men ellers ingen merkbar forskjell fra «aluminiumsfolie test 1», etter hverken 10- eller 20 minutter (figur 62). Strømforsyningen på 1,2 V og 73 mA resulterte i en god del bobler i vannet. Etter 10 min begynte det å danne seg et tynt brunt lag med alger på vannoverflaten.



Figur 62: Aluminiumforsøk nr 3. Bilde tatt etter 10 min.

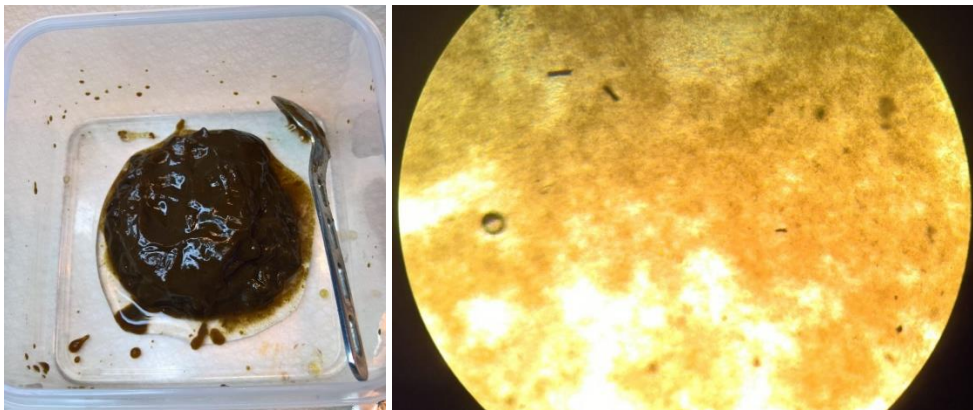
Storskala forsøk

Testkjøring av elektroforese og filtrering

04.04.17. Filterdukene ble raskt fulle av vann, men tilstopping var ikke et like stort problem som før, så lenge man arbeidet sakte og presist med algeinnsamlingen. Algeinnsamlingen var ferdig på en time, hvor overflatevannet i elektroforesekaret da var så og si fritt for alger.

125 μm duken inneholdt neglisjerbare mengder biomasse etter filtreringen, mens 20 μm duken inneholdt all den innsamlede biomassen.

Veiingen av biomassen etter skraping fra 20 μm duken, viste en våtvekt på 125 gram (figur 63).



Figur 63: Ferdig filtrert algeprøve, med en våtvekt på 125 gram, samt mikroskopbilde av prøven.

Endelig konsentreringsmetode

Fullskala elektroforese og filtrering

06.04.17. Ved ordinær innsamling var erfaringen med filterdukene det samme som før, med lite problem med tilstopping, så lenge innsamlingen var presis og tålmodig utført. Ordinær algeinnsamling var ferdig på en time. 3/4 av algene på overflaten var samlet inn på dette tidspunktet.

Etter at strømtilførselen ble påskrudd igjen, etter filtreringspausen og påfølgende bunnfall i elektroforesekaret, kom det en del ekstra alger etter en halvtime med venting før overrenningsmetoden skulle testes.

Overrenningsinnsamlingsmetoden (figur 64) var særdeles effektiv i å samle inn algene, men produserte så mye ekstra vann at filtreringen tok 3 timer.



Figur 64: Elektroforeseket før og etter «sluk-metoden». To 18-liters bøtter var nødvendige for å samle alt vannet.

Algebiomassen var i denne omgang så tykk at ikke alt kom igjennom 250 μm duken (figur 65). Dermed ble det skrapet av biomasse fra begge mikrometerfilterdukene. Veiingen viste en endelig våtvekt på 553,40 gram (tabell 15).



Figur 65: Forsiktig overføring av algene fra filtreringsbøttene til krukken. Ferdig våtvekt var på 553,4 gram.

Tabell 15: Veiing av glasskrukke med filtrerte alger fra elektroforesen.

Glasskrukke for algebiomassen	Vekt
Uten innhold, før elektroforese og filtrering	848,45 g
Med innhold, etter elektroforese og filtrering	1401,85 g
Våtvekt av alger, etter elektroforese og filtrering	553,40 g

PH målingen i elektroforeseket i etterkant av elektroforesen 06. april, viste en neglisjerbar nedgang på 0,02 (tabell 16).

Tabell 16: pH måling av vannet før og etter elektroforese, 06. april.

06.04.17	PH	Info
15:25	8,42	PH av 7 m ³ kar før sifonering og elektroforese
18:49	8,40	PH av 1 m ³ kar etter elektroforese

I løpet elektrokoaguleringen ble det brukt en spenning og strømstyrke på 3,37 V og 3,95 A i 1 time og 6 min, 3,3 V og 4,49 A i 38 min og 3,23 V og 3,95 A i 36 min. Dette gir et totalt energiforbruk på 73,93 Wh.

Ved hjelp av Faradays lov regnet vi ut mengden aluminium ioner som blir felt ut per mengde strøm i løpet av elektrokoaguleringen. Formelen, hentet fra Dassey & Theegala (2014), er som følger.

$$m = \frac{i \cdot t \cdot MW}{96485 \cdot e} \quad (5)$$

I formelen er m = reduksjon av anoden (g), i = strømmen mellom elektrodene (A), t = tid (s), e = elektroner produsert i en halv reaksjon og MW = molekylvekten til aluminium.

$$3,95 \text{ A} \cdot 6120 \text{ s} = 24174 \text{ As} \quad (6)$$

$$4,49 \text{ A} \cdot 2280 \text{ s} = 10237,2 \text{ As} \quad (7)$$

$$10237,2 + 24174 = 34411,2 \text{ As} \quad (8)$$

$$\frac{34411,2 \cdot 26,981539}{96485 \cdot 3} = 3,207 \text{ g} \quad (9)$$

Effektivitet

Klorofyllverdiene var $80.36 \mu\text{g l}^{-1}$ før elektroforese og $10.86 \mu\text{g l}^{-1}$ etter. Dette betyr at, basert på klorofyllverdiene, klarte vi med elektroforesen å hente ut 86,5 % av biomassen i karet.

Utregning basert på celleantall før og etter gir omtrent samme tall, 85,7114 %. Celleantall før elektroforesen var 436 millioner l^{-1} og 62 mill. l^{-1} etter.

Algetelling

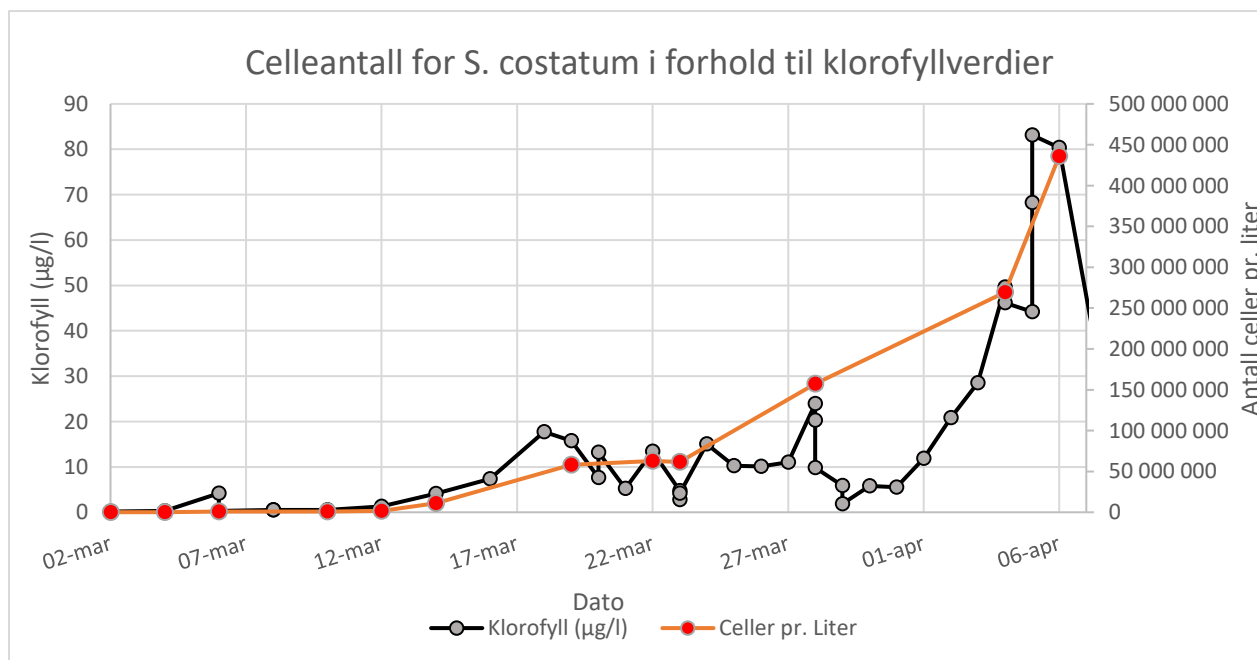
Prøver fra karet

Tabell 17 viser antall kjeder l⁻¹ og celler l⁻¹ for utvalgte prøver hentet fra karet.

Tabell 17: Prøver fra karet, antall celler l⁻¹

#	Dato	K.fyll µg l ⁻¹	S. costatum			Chaetoceros	Thalassionema	Thalassiosira	Ceratium fusus	Pseudo-nitzschia	Coscinodiscus
			Kjeder	Celler/kjede	Celler	Kjeder	Kjeder	Kjeder	Celler	Kjeder	Celler
8	28-Feb	0,1	1 134	6,42	7 283	2 268	1 701				
11	2-Mar	0,19	10 209	5,89	60 136	2 268					
12	4-Mar	0,29	31 764	4,0	127 057	7 938	1 134	567	1 701		
13	6-Mar	4,17	158 821	5,7	905 283	28 361					
14	10-Mar	0,5	120 250	6,57	790 046	9 642		1134	567	567	
15	12-Mar	1,3	263 762	6,44	1 698 632	21 554	2 268	1134		567	2 836
16	14-Mar	4,00	1 548 510	7,12	11 033 133	121 952	8 508			14 180	34 033
19	19-Mar	15,8	7 305 948	7,94	58 009 228	171 551	27 668	5 586	16 759	11 067	
23	22-Mar	13,4	12 904 528	4,88	62 974 096	179 852	41 504	13834		83 004	13 834
24	23-Mar	2,76	11 429 483	5,38	61 490 618						
29	28-Mar	20,2	36 207 543	4,34	157 140 738	276 774	18 451	74 509	92 286	36 914	
37	4-Apr	50	74 816 318	3,6	269 338 744						
40	6-Apr	80	99 547 110	4,38	436 016 341						

På grunn av tidsnød ble gjennomsnittlig celleantall per kjede bare telt for *S. costatum*. *Ceratium fusus* og *Coscinodiscus* er oppgitt i celler ettersom de ikke er kjededannende men består av kun en celle (Thronsen & Eikrem, 2001). Verdier for klorofyll er hentet fra CTD målingene i karet, som ble gjort samtidig som prøvene ble tatt. Gjennomsnittlig antall celler per kjede for alle prøvene i tabell 17 er 5.09.



Figur 66: Celleantall for *S. costatum* i forhold til klorofyllverdier

Grafen i figur 66 ble laget for å se på sammenhengen mellom verdiene for tellingen og klorofyllverdiene, grovt sett ser de ut til å være i samsvar med hverandre.

I tabell 18 har vi regnet ut forholdstallet mellom klorofyll og celler.

Tabell 18: Forholdstall klorofyll/celler.

Prøve #	Dato	Klorofyll ($\mu\text{g l}^{-1}$)	Antall celler pr.l (millioner)	Klorofyll/celler
P-11	2,03	0,19	0,0625	3,04
P-12	4,03	0,29	0,162	1,79
P-13	6,03	4,17	0,9	4,63
P-14	10,03	0,5	0,79	0,63
P-15	12,03	1,3	1,69	0,76
P-16	14,03	4	11	0,36
P-19	19,03	15,8	58	0,27
P-23	22,03	13,4	62,9	0,21
P-24	23,03	2,76	61,5	0,04
P-29	28,03	20,2	157,1	0,12
P-37	4,04	49,6	269,3	0,18
P-40	6,04	80	436	0,18
P-41	6,04	10,86	62,3	0,17

Prøver fra fullskala elektroforese og filtreringsvann

Etter at storskala elektroforese i karet på 1 m³ var gjennomført, og vi hadde fjernet de flokkulerte algene som fløt opp, tok vi en vannprøve fra vannet i elektroforesekaret . I tabell 19 er verdiene fra telling oppført.

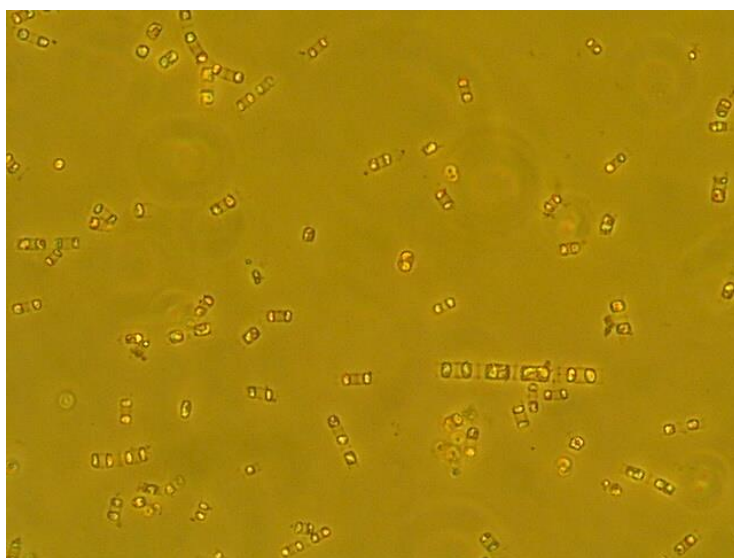
Tabell 19: Telleverdier i vann som har vært igjennom elektroforeseprosessen.

Dato	S. costatum			
	Chl a / $\mu\text{g l}^{-1}$	Kjeder l ⁻¹	Celler/kjeder	Celler l ⁻¹
06-apr	10,86	27 324 860	2,28	62 300 680

Etter at konsentratet fra fullskala elektroforese ble filtrert gjennom en filterduk med 20 μm maskevidde, ble en prøve tatt av vannet som hadde rent igjennom dette filteret. Tabell 20 viser verdier fra telling. Figur 67 viser et mikroskopbilde tatt av prøven.

Tabell 20: Telleverdier i filtrert vann.

Dato	S. costatum		
	Kjeder l^{-1}	Celler/kjeder	Celler l^{-1}
06-Apr	301 877 033	2	603 754 066



Figur 67: Bilde av filtrert vann, tatt gjennom mikroskop på 200x forstørrelse

Sedimenteringstest

15.05.17.

Tallene i tabell 21 viser hvor mange algekjeder, gjennomsnittlig antall celler per kjede og antall celler totalt som ble observert under tellingen.

Tabell 21: Resultatet av algetelling av et område på 18,72 mm^2 .

	Prøve fra overflaten			Prøve fra midten		
	Antall kjeder	Snitt celler	Celler totalt	Antall kjeder	Snitt celler	Celler totalt
<i>S. Costatum</i>	288	2,19	630,7	246	2,63	647
<i>Chatoceros</i>	1	x		6	x	
<i>Pseudo-Nitzschia</i>	5	x		4	x	
<i>Thalassionema</i>	0	x		2	x	

Beregning av glødetap

Tabell 22 viser resultatene fra glødetapforsøket.

Tabell 22: Resultater fra glødetapforsøket (g)

Digel	Våtvekt (g)	Tørrvekt uten salt (g)	Askevekt uten salt (g)	Vannvekt (g)	Saltvekt (g)	Organisk askefri vekt (g)
R1	21,6473	0,9206	0,3026	20,0646	0,6621	0,6180
R13	27,3696	1,1657	0,3711	25,3668	0,8371	0,7946
R16	22,2493	0,9798	0,3283	20,6180	0,6515	0,6515

Tabell 23 viser prosentfordelingen av glødetap.

Tabell 23: Glødetap (%)

Digel	Glødetap (%)
R1	67,13
R13	68,17
R16	66,49

Tabell 24: Gjennomsnittlig innhold i hver digel.

Våtvekt (g)	Tørrvekt uten salt (g)	Askevekt uten salt (g)	Vannvekt (g)	Saltvekt (g)	Organisk askefri vekt (g)
23,7554	1,0220	0,3340	22,0165	0,7169	0,6880

Verdiene i tabell 24 viser gjennomsnittlig innhold i hver digel.

Gjennomsnittlig våtvekt i diglene utgjør 1/23,2957 av den totale våtvekten på 553,4 g på algeprøven som vi faktisk samlet under elektrolyseforsøket av 1 m³ vann. Ved å multiplisere gjennomsnittlig organisk askefri vekt med 23,2957, blir resultatet at hele prøven hadde en organisk askefri vekt på 16,0274 g.

Dersom vi multipliserer dette med 7, kommer vi frem til at organisk askefri vekt fra hele karet med 7 m³ vann ville vært på 112,1918 g dersom dette ble filtrert på samme måte.

Med utgangspunkt i at energikonsentrasjonen i 1 g organisk askefri vekt er 5 kcal, blir resultatet at energiinnholdet fra hele karet er 560,959 Kcal, tilsvarende 2356,0278 KJ.

Diskusjon

Feilkilder

Generelle feilkilder

Det kan muligens ha oppstått menneskelige feil og unøyaktigheter ved målinger, avlesninger og loggføringer. Videre kan det muligens ha vært unøyaktigheter ved utstyr og måleinstrumenter.

Andre feilkilder

Gjødsling

Det er usikkerhet om vannglass ble godt nok oppløst i blandingsprosessen.

CTD-apparat

CTD-apparatet ga høyere klorofyllverdier under mørke forhold.

Vannbytte

Det var til tider vanskelig å lese av nøyaktig vannstand siden vind førte til bølger i karet.

Forsøk

Sammenlignende forsøk av Superba og Fullgjødsel

Den ene bøtten var 2 cm høyere enn den andre. Dette kan ha påvirket lystilgangen. Selv om bøttene ble forsøkt plassert på et sted med tanke på å få like forhold, kan det ikke utelukkes at skygge fra hus eller andre ting kan ha gitt ulike lysforhold. Det kan også ha oppstått krysskontaminering mellom bøttene, i forbindelse med CTD målinger og røring, og muligens kontaminering fra omgivelsene ettersom at bøttene stod uten oppsyn. Selve omrøringen ble gjort omtrentlig likt i hver bøtte, men forskjeller kan ikke utelukkes. I tillegg førte omrøring til at vann skvulpet over kantene på bøttene, som førte til at vannstandene den siste dagen var noen cm forskjellige.

Bøttene ble vasket med salmiakk og så skylt. Eventuelle salmiakkrester kan ha påvirket pH verdier og ført til ulike forhold i bøttene.

Utblanding av næring i 2 l ferskvann betyr at saltinnholdet i bøttene var lavere enn under normale forhold, og kan ha påvirket resultatet.

Filtrering

Mikrometerduksfiltrering i stablede bøtter

På grunn av tilstopping måtte vanntilførselen til filterbøttene justeres kontinuerlig. Dette medførte en del svinn på grunn av vannsøl utenfor filteret ved start og stopp av sifonering. Det er derfor noe usikkert hvor mye som faktisk ble filtrert.

Utfelling

pH-indusert flokkulering

Mengden vann som ble fylt i «Gilde karet» er ukjent.

Elektroforeseforsøk

Småskala forsøk

Ved bruk av mopedbatteriet er det uvisst hvilken effekt som gikk inn i systemet.

Endelig metode

Nedbør kan ha redusert effektiviteten til flotasjonen, ved at alger ble presset ned i algekulturen.

Algetelling

Prøver med svært tett algekonsentrasjon hadde av og til klumper med alger, som gjorde det vanskelig å nøyaktig anslå antallet algekjeder. Sedimenteringstiden kunne også variere med et par timer, avhengig av tilgjengelig arbeidstid.

Samlet vurdering

De fleste feilkildene hadde sannsynligvis ingen signifikant påvirkning på våre resultater, men utilstrekkelig utblanding av vannglass kan ha ført til betydelige negative konsekvenser for vekst. Menneskelige feil og unøyaktigheter ved målinger og loggføring har gitt noen avvik i resultater, men ikke i noe stort omfang. Unøyaktigheter ved utstyr kan stå for enkelte feilmålinger.

Inokulering

Prøver fra inokulat og våroppblomstring i fjorden

Siden tilgangen på silikat er størst på vårparten (T. Dale, veileder, personlig meddeling, 30.05.17), dominerer kiselalgene som forventet i disse prøvene. Av dinoflagellater var *Ceratium fusus* den mest tallrike, men i forhold til kiselalgene var det svært lite dinoflagellater og andre mikroalger. Ettersom brorparten av mikroalgene holdt seg på rundt 2 m er det logisk at fordelingen i inokulatet som ble hentet fra 0-10 m dybde ligner mest på prøven fra 2 m. Alikevel ser *S. costatum* overrepresentert ut. Grunnen til dette kan være at *S. costatum* hadde de lengste kjedene, med et snitt på 17,8 celler mot *Chateoceros* sitt på 6,4 og *Thalassiosira* på 4. Dette kan ha bidratt til at håven lettere fanget opp *S. costatum* enn andre arter.

Kultivering

Klorofyll, algeoppblomstringer og vekstrater

Høyest vekstrate ble registrert ved den første oppblomstringen etter oppstarten av kultiveringen da klorofyll gikk fra 0,1 til 4,17 $\mu\text{g chl a/l}$ over tidsperioden fra 28. februar til 06. mars. En mulig forklaring på dette er at næringsnivået i 100-meters vannet i hovedkaret var relativt høyt i forhold til mengden alger. Etter vannbyttet 06. mars begynte en ny stigning i klorofyllverdier før det dannet seg en topp på 17,72 $\mu\text{g chl a/l}$ den 18. mars. Denne stigningen ble etterfulgt av en kollaps som sannsynligvis oppstod på grunn av mangel på nødvendig næring i og med at det ikke hadde blitt tilført nye næringsstoffer siden vannbyttet den 06. mars. Denne kollapsen var ikke overraskende siden den i stor grad samsvarer med erfaringene som ble beskrevet i oppgaven Bjørndal *et al.* (2016).

Fra gjødslingen startet den 23. mars, holder klorofyllverdiene et relativt stabilt nivå frem til 28. mars, hvor det kommer en stigning før klorofyllet nok en gang kollapse. Vi klarer ikke å få en ny betydelig stigning før etter oppstarten med Superba den 01. april. Stigningen er bratt fra 01. april og frem til elektroforeseforsøket den 06. april. I denne perioden steg klorofyll fra 11,85 til 83,12 $\mu\text{g chl a/l}$. En mulig forklaring på den kraftige klorofylløkningen etter oppstarten med Superba, kan være at det har vært mangel på tilgjengelig mikronæring i hovedkaret, og at dette har hemmet vekstpotensialet. Ved å tilsette mikronæring kan dette ha skapt grunnlag for videre vekst. Noe som styrker denne teorien er at klorofyllnivået hadde en jevn nedgang fra gjødslingen ble avsluttet den 06. april, og frem til den 22. april hvor klorofyll blir målt til et bunnivå på 0,9 $\mu\text{g chl a/l}$.

De tre høyeste vekstratene i karet var på 1,366 , 1,261 og 1,132. Felles for alle tre er at på startdatoen er klorofyll på et veldig lavt nivå. Dette kan tyde på at selvskygging hindrer like gode vekstrater når kulturen blir tykkere. Sett ut ifra tabell 25 ser det ut som at vekstratene er best når det blir gjødslet med kun fullgjødsel, men i forsøket for å teste forskjellen på Fullgjødsel og Superba oppnådde vi en vekstrate på 1,195 i bøtten gjødslet med Superba. Siden forsøket ble gjort i en liten bønne hadde algene god lystilgang.

Tabell 25: Våre høyeste vekstrater sammenlignet med høyeste vekstrate fra fjorårets gruppe. Fjorårets er markert med grønt og våre med blått. Tall for forårets vekstrater er hentet fra Bjørndal et al., (2016)

Dato		Klorofyll ($\mu\text{g l}^{-1}$)		Specific Growth Rate (SGR)
fra	til	fra	til	
04-Mar-17	06-Mar-17	0,298	4,171	1,261
23-Mar-17	24-Mar-17	2,76	15,04	1,374
29-Mar-17	30-Mar-17	1,86	5,77	1,132
27-Mar-17	28-Mar-17	11,03	23,94	1,042
21-Mar-17	22-Mar-17	5,22	13,39	0,864
27-Mar-16	28-Mar-16	4,763	16,414	1,237
31-Mar-16	01-Apr-16	4,786	12,442	0,955
03-Apr-16	04-Apr-16	3,518	11,349	1,171
22-Apr-16	23-Apr-16	1,867	9,187	1,593
04-May-16	05-May-16	61,353	118,661	0,66

I tabell 25 er de tre høyeste vekstrate verdiene fra hver gruppe markert med fet skrift. Våre verdier ser ut til å ligge på omtrent samme nivå som fjorårets gruppe.

Generelt sett ser trenden ut til å være for både oss og fjorårets gruppe at de høyeste vekstratene kom i starten av dyrkingsperioden. Noe av forklaringen til dette kan være at at lite alger gir bedre lysforhold, og at det sannsynligvis er mindre bakterier som konkurrerer om de samme næringsstoffene tidlig i dyrkningsprosessen.

Vi tok høyde for forskjellene på tidspunkt for CTD målingene ved utregning av vekstratene/SGR. Ett eksempel er utregningen for 23. mars til 24. mars, hvor klorofyll gikk fra 2,76 til 15,04. Målingene ble tatt ved forskjellige tidspunkt på de to dagene, 10:22 den 23. mars. og 15:58 den 24. mars. Ved å bare dele på 1, forskjellen i dager (se «metode - vekstrater» for ligningen), ville SGR blitt 1,695. Ved å regne om forskjellen i minutt til desimaltall, fikk vi forskjellen i dager til å bli 1,23. $\text{SGR} / 1,23$ blir da 1,374. Etter å ha regnet på noen av tallene til Bjørndal et al. (2016) ser det ikke ut som at de har brukt samme metode, de har bare delt på hele dager. Så enten har de brukt målinger som er tatt på nøyaktig samme tidspunkt hver dag, eller utelatt å regne om forskjellen.

Salinitet

Salinitetsverdiene målt under eksperimentet (figur 40) var ofte sprikende, og indikerte enten store svingninger i salinitet eller at det var flere feilmålinger.

Luftbobler kan ha påvirket ledningsevnen til sensoren i CTD måleren og nedbør kan ha endret salinitetsnivået ved at en økning i vannstanden, fra 1,00 m til 1,13 m, kan ha tynnet ut saltinnholdet med oppimot 13 %. Det er også en viss feilmargin ettersom vannstand er lest av fra en målestokk på øyemål, der vannet er i konstant bevegelse på grunn av vær og vind.

De mange avvikene i grafen (figur 40) kan også skyldes endringer i partikkelinnholdet i algekulturen. Tre tydelige perioder skiller seg ut i avlesningene. Startperioden mellom 28. februar og 12. mars har en tynn algekultur og lite partikler. I mellomperioden, 16. mars til 01. april, er salinitetsmålingene mer sporadiske, og det er mer alger og partikler i vannet. I den tredje perioden fra 8. april til 22. mars, er avlesningene mye mer stabile. Det kan derfor tenkes at partiklene kan ha påvirket ledningsevnen i vannet, som så har gitt en økt feilmargin for sensoren. Samtidig var partikkel- og algeinnholdet på sitt høyeste mellom 04. og 06. april (figur 41 og 45), men med mindre avvik i salinitetsmålingene enn de tatt bare noen dager tidligere.

Turbiditet

Turbiditetsverdiene i løpet av eksperimentet virket realistiske mesteparten av tiden da det var en synlig sammenheng melleom turbiditet og klorofyllverdiene. Unntakene er enkelte feilmålinger der store partikkler med all sannsynlighet festet seg til sensoren. Fallet i turbiditet i etterkant av vannbyttene tyder også på at relativt regelmessige vannbytter kan være nødvendig for å forhindre for høy konsentrasjon av uønskede partikler i vannet, som kan konkurrere med algene for næring. For mye partikler kan hindre lystilgangen til algene og dermed gi stagnering i produksjonen. Sirkulering av vannet er derfor også viktig. Døde alger kan øke turbiditeten ytterligere, og være næring for bakterier. Jevnlige vannbytter kan derfor være nødvendig for å renske bort uønsket bunnfall.

Oksygen

Oppgangen 04. april kommer trolig som følge av det første storskala elektroforeseforsøket, der det ble sifonert 5 % med vann fra hovedkaret over i elektroforesekaret. Under sifoneringsprosessen, og elektroforeseforsøket som fulgte, ble lufttilførselen værende i hovedkaret. Algekulturen fikk dermed tilført mer oksygen mellom CTD målingene kl 15.25 og 18.53, enn mellom tidligere

vannbyttmålinger. Dette, kombinert med en minimal 5 % vanntilførsel, fra 50 meters dyp, resulterte sannsynligvis i avviket i CTD målingen.

pH

I løpet av eksperimentet ble det registrert en økning i pH, noe som tilsier en økende og dominerende fotosynteseaktivitet fra algekulturen.

Næringstilsetninger

NPK-gjødsel

Saltvannet som ble brukt i kulturen ble pumpet opp fra 100 m dybde. Dypt saltvann inneholder naturlig de næringsstoffene marine mikroalger trenger for å vokse, men i begrensede mengder. For at det skal være økonomisk drivverdig å dyrke mikroalger for biodrivstoff, må man oppnå høyere konsentrasjon enn hva som oppstår naturlig. Mikroalger trenger nitrogen, fosfor og diverse spormetaller og vitaminer for å vokse. I tillegg trenger diatomer silikat for å danne skall. Guillard's $F/2$ medium og Walne medium er eksempler på skreddersydde næringsløsninger som brukes for kultivering av mikroalger (Lavens & Sorgeloos, 1996). For å redusere kostnader kan man bruke NPK - gjødsel beregnet på jordbruk, som en billigere og mer tilgjengelig løsning, og inneholder både nitrogen og fosfor. Noen typer inneholder også sporstoffer i tillegg.

En av våre teorier for dårlig vekst i perioden hvor det ble gjødslet med kun Fullgjødsel var nettopp mangel på sporstoffer som en minimumsfaktor. Tanken var at mye av de opprinnelige sporstoffene vannet naturlig inneholdt allerede var blitt brukt og bundet opp i levende og døde alger og andre mikroorganismer. Superba som inneholder sporstoffer, ble foreslått, men denne typen har litt forskjellig atomforhold mellom N og P sammenlignet med Fullgjødsel 18-3-15. Ifølge oppgaven til Bjørndal *et al.* (2016) hadde Fullgjødsel et ideelt atomforhold, så vi var derfor skeptiske til å bytte gjødseltype til en med forskjellig N/P atomforhold. I tillegg til dette var vi ikke overbeviste om at teorien om manglende sporstoffer var grunnen til dårlig produksjon, det kunne være mange andre grunner til at veksten ikke tiltok, som lystilgang, temperatur, ikke tilstrekkelig sirkulasjon i vannet osv. På tross av disse argumentene bestemte vi oss for å erstatte halvparten av Fullgjødslet med Superba fra og med 01. april, ettersom gjødsling med Fullgjødsel ikke ga de resultatene vi håpet på. Samtidig som oppstart med Superba gjorde vi et forsøk for å sammenligne effekten av de to typene, og resultatene fra dette eksperimentet ga oss tillit til Superba, se kapittel «Sammenlignende forsøk av Superba og Fullgjødsel».

Bjørndal *et al.* (2016) kom fram til at ønskelig atomforhold mellom tilsatt nitrogen og fosfor lå et sted mellom 16:1 og 14:1. I Yaramila fullgjødelse 18-3-15 er innholdet som navnet antyder, 18 % N og 3 % P. I følge Bjørndal *et al.* (2016) tilsvarer dette et N/P atomforhold på 15:1 og ble derfor valgt. I følge Andersen (2005) er N/P - atomforholdet som kreves for optimal vekst ganske likt hos de fleste arter. Dette forholdet er kalt Redfield ratio og er et atomforhold på 106:16:1 karbon:nitrogen:fosfor. Tallene Bjørndal *et al.* (2016) kom fram til er i tråd med disse forholdstallene.

Superba inneholder 14 % N og 3.9 % P som gir et N/P vektforhold på 3.589/1. For Fullgjødelse er dette tallet 6.7/1.

N/P atomforhold i Superba blir da som følger

$$N = 14g \text{ mol}^{-1}$$

$$P = 31g \text{ mol}^{-1}$$

$$14 \text{ g N}: 14 \times \frac{1}{14} = 1 \text{ mol} \quad (10)$$

$$3.9 \text{ g P}: 3.9 \times \frac{1}{31} = 0.1258 \text{ mol} \quad (11)$$

$$\frac{1 \text{ mol N}}{0.1258 \text{ mol P}} = \frac{7.949 \text{ mol N}}{1 \text{ mol P}} \quad (12)$$

Som disse utregningene viser vil man ved å gjødsle med Superba tilsette omtrent dobbelt så mye P i forhold til N som anbefalt. Kristal Indigo har 8.5 % N og 4.9 % P i vekt. Dette gir ett atomforhold mellom N/P på 3,8/1, som er enda lengre unna Redfield ratioen. Sporstoffene i Kristal Indigo og Superba er de samme, bare i litt forskjellige mengder. Det betyr at Superba sannsynligvis er et bedre valg enn Kristal Indigo.

Klorofyllnivået nådde som nevnt ett toppnivå på 17.72 $\mu\text{g l}^{-1}$ før kollaps i perioden uten gjødsling, og 23.94 $\mu\text{g l}^{-1}$ i perioden med kun Fullgjødelse. Ettersom Fullgjødelse ikke inneholder mye sporstoffer, kan det peke mot at minimumsfaktoren for saltvannet var N eller P, ikke sporstoffer. De var sannsynligvis først brukt opp da kulturen kollapset rundt 23.94 $\mu\text{g l}^{-1}$. Fullgjødelse inneholder magnesium (Mg), svovel (S) og bor (B), så denne teorien holder vann kun hvis det ikke var disse stoffene som var

minimumsfaktoren. Videre diskusjon om sporstoffer og forskjeller mellom gjødseltypene er tatt i kapittelet «Sammenlignende forsøk av Superba og Fullgjødsel».

Dosering

Generelt sett så ble mengdene bestemt ut ifra hva klorofyllnivået i tanken var på det tidspunktet vi skulle til å gjødsle. Hvis vi forventet en mulig vekst i løpet av ett døgn på maks $24 \mu\text{g l}^{-1}$ klorofyll, gjødslet vi med én dose. Hvis mer var forventet/teoretisk mulig, ble mengden oppjustert. Valgene var basert på at klorofyllnivået i beste fall kunne doble seg på 24 timer. Mengdene vi valgte var veldig omtrentlige, doseringen ble ikke regnet ut nøyaktig etter anbefalingene om en dose for en produksjon på $24 \mu\text{g klorofyll l}^{-1} \text{d}^{-1}$. Etterhvert som kulturen stagnerte, ble mengden økt en del i forhold til anbefalingene. Spesielt i andre halvdel av gjødslingperioden, hvor halve mengden Fullgjødsel ble erstattet av Superba, doserte vi mer enn anbefalt. Tanken var rett og slett at for mye gjødsel var bedre enn for lite. Bjørndal *et al.* (2016) nevner også at de mengdene de regnet seg fram til var litt i underkant av tilstrekkelig mengde. Etersom Superba inneholder mindre N enn Fullgjødsel (14 % mot Fullgjødsels 17.6 %) var det sett i ettertid kanskje en fordel å gjødsle ekstra mye, for å få nok N. På den andre siden vil det si at mer enn anbefalte mengder P ble tilsatt.

Vi var ikke spesielt bekymret for overgjødsling i siste halvdel. Forsøket med Superba og Fullgjødsel tydet ikke på at overgjødsling hadde noen umiddelbare negative effekter. I tillegg var planen at filtrering skulle skje 6 april, hvor karet ble tappet ned til 10 cm og aktiv kultivering avsluttes til fordel for skriving av oppgaven.

Vannglass

I følge produsenten skal vannglasset «skytes inn», for å få en god fordeling/oppløsning. Måten det ble tømt ut i karet varierte med hvem som gjorde det, noen prøvde å piske det inn ved å slenge det utover mens noen bare tømte det rett ned i karet. For å få god nok utblanding var dette muligens ikke tilstrekkelig, og kan ha vært noe av forklaringen på den dårlige veksten i første halvdel av perioden med gjødsling.

Karbondioksid og lys

Bjørndal *et al.* (2016) nevner styring av luft som en mulig forbedring av kultiveringsprosessen fordi det ville ha gitt en reduksjon av strømkostnader og bedre kontroll på pH nivå, men det ble ikke gjort i dette prosjektet.

Etterhvert som klorofyll steg mot $80 \mu\text{g l}^{-1}$ ble lystilgangen kraftig redusert jo lengre ned i karet man kom. Dette kan være et argument for å kjøre lufting på full styrke ved høye klorofyllkonsentrasjoner. Men med tanke på at *S. costatum* synker bare rundt 0.45 m per døgn (Peperzak *et al.*, 2003) kan

sannsynligvis styrken skrus ned ved lavere konsentrasjoner. Kunstig lys ved høye verdier kan være et alternativ å vurdere hvis det lønner seg økonomisk. Vannstanden ble holdt på 1 m gjennom hele kultiveringsperioden, slik at det var 20 cm opp til kanten av karet. Siden solinnstrålingen er lav og kommer veldig skrått inn på våren, kunne det vært en fordel å ha hevet vannstand helt opp til kanten for å tillate mest mulig solinnstråling.

Klorofyllnivået ser ut til å i stor grad responderer på endringer i lysmengde, spesielt i gjødslingsfasen. Den store nedgangen i klorofyll den 28. mars kom som følge av et vannbytte på 80 %. Etter at Superba ble introdusert som gjødsel, reagerte klorofyllmengden tilsynelatende voldsomt på den økende lysmengden. Den lille nedgangen i klorofyllgrafene den 04. april var på grunn av et filtreringsforsøk som medførte et vannbytte på 5 %. Sett bort fra dette, så stiger klorofyllet kraftig frem til det når et toppnivå på 83 µg chl a/l. Filtreringsforsøket med påfølgende vannbytte ble utført den 06. april, noe som medførte den kraftigste nedgangen i klorofyllgrafene. Gjødslingen ble avsluttet etter dette forsøket.

Den mest interessante observasjonen slik vi ser det, er den kraftige positive responsen klorofyllet tilsynelatende har på lysmengden, når det ble gjødslet med Superba, samtidig som klorofyllet går jevnt nedover frem til karet ble avvirket den 22. april. Dette til tross for at lysforholdene etter den 06. april var de beste gjennom hele perioden. Dette kan indikere at Superba tilførte algene mikronæring som var nødvendig for fotosyntesen.

Sammenlignende forsøk av Superba og Fullgjødsel

Eksperimentet ble gjort først å fremst gjort som et sideeksperiment av praktiske grunner, for å finne ut om det var noe poeng i å starte gjødsling med Superba. Eksperimentet var ikke planlagt i forveien, og sett i ettertid var utførelsen etter vår mening, ikke nøyaktig og god nok til å tilfredstille vitenskapelige kriterier for et eksperiment. For å få sikrere resultater burde eksperimentet vært gjort under mer kontrollerte forhold i et laboratorium. På tross av rekke mulige feilkilder endte vi opp med resultater som vi anser som rimelig troverdige. For oss tydet resultatene av dette eksperimentet på at Superba åpenbart var det beste valget for videre gjødsling.

For å få ett mer realistisk og overførbart resultat burde vi installert lufting i bøttene, og tilsatt mindre næring. For å observere effektene av overgjødsling burde det eventuelt vært gjort et separat forsøk. Saltinnhold ble ikke målt som følge av høydeforskjell mellom sensor og vannstand. pH målinger ble ikke tatt. I tillegg til å ha gitt interessante data burde dette blitt gjort for å være sikre på at det var like verdier i begge bøttene på dag én.

Gjødsling

«Dosen» som vi opererte med, nok til produksjon av $24 \mu\text{g l}^{-1}$ klorofyll i 7 m^3 , var som nevnt 2,2 g Fullgjødsel og 4,62 ml vannglass. Følger man dette betyr det at for en kultur på kun 15 l, som allerede har en konsentrasjon på $24 \mu\text{g l}^{-1}$ klorofyll, må den daglige mengden tilsatt gjødsel være:

$$\frac{2.2 \text{ g}}{7000\text{l}} \times 15 \text{ l} = 0.00471 \text{ g} \quad (13)$$

Og vannglass:

$$\frac{4.62 \text{ ml}}{7000\text{l}} \times 15 \text{ l} = 0.0099 \text{ ml} \quad (14)$$

Det ble gjødslet med 0,5 gram som tilsvarer omtrent 106 ganger mer enn anbefalt, og 1,2 ml vannglass som er 121 ganger så mye.

Ettersom *S. costatum* synker 0,45 m på ett døgn (Peperzak *et al.*, 2003) vil ikke en omrøring daglig være tilstrekkelig for å holde algene i suspensjon. Tanken bak å gjødsle så kraftig som vi gjorde var at på grunn av denne sedimenteringen ville ikke algene klare å benytte seg av næringen i alt vannet, kun næringen i en lav søyle på bunnen av bøtten. Derfor måtte konsentrasjonen av næring være høyere enn normalt. Den andre grunnen var å teste om overgjødsling hadde umiddelbare negative konsekvenser for levevilkår. Konveksjon som følge av soloppvarming av bøttene sammen med vind kan ha bidratt til en viss sirkulasjon i vannet.

CTD – data

Ettersom det ble gjødslet med så store mengder som det ble, skal algene i begge bøtter hatt mer en nok tilgang til nitrogen, fosfor og SiO_2 . Forskjellen var tilgangen på sporstoffer, og den logiske forklaringen på de lave klorofyllnivåene i bøtte # 2 er da nettopp manglende tilgang på dette. Siden det ble tilsatt relativt store mengder fullgjødsel, som inneholder magnesium (Mg), svovel (S), bor (B), kan det ikke være disse stoffene det var for lite av. I tillegg til disse inneholder Superba kobber (Cu), jern (Fe), mangan (Mn), molybden (Mo) og sink (Zn). Mangel på ett eller flere av disse mineralene må da være det som var minimumsfaktoren i bøtte # 2, men for å finne ut av akkurat hvilket stoff så må grundigere testing gjøres. Mangel på lys og karbon kan også utelukkes som minimumsfaktor. I motsetning til Superba så inneholder YaraMila fullgjødsel 10,6 % klor (Cl). Det er også kjent at fjordvann lider av jernmangel (T. Dale, veileder, personlig meddeling, 30.05.17).

En ting som taler i mot teorien om manglende mikronæring er at Bjørndal *et al.* (2016), kun ved gjødsling med samme type fullgjødsel til slutt kom opp i $75 - 118 \mu\text{g l}^{-1}$ klorofyll i karet på 7 m^3 . Men, dette skjedde først 4-6 mai 2016, 1 måned etter at vi nådde tilnærmet samme verdier etter gjødsling

med Superba. En forklaring på at de klarte få karet opp i så høye verdier med Fullgjødning kan være at de gjennomførte flere vannbytter som kan ha tilført de nødvendige sporstoffene. En annen grunn kan være at de brukte mer næringsrikt vann, fra 100 meters dyp, gjennom hele eksperimentet, mens vi måtte gå over til et mer næringsfattig 50 meters vann.

Både oksygen og turbiditetverdiene i bøtte 2 følger nesten nøyaktig de samme verdiene som i bøtte 1. Dette er overraskende siden forskjellen i klorofyll er så stor. For å nå verdier over 100 % må det være fotosyntese som produserer oksygen, derfor tyder oksygenivåene på at det var produksjon i fullgjødselbøtta, selv om klorofyll ikke steg. En mulig teori er at bøttene hadde en noenlunde like produksjon, men at algene i bøtte #2 døde fortløpende. En annen er at utlufting av oksygen i den lille mengden vann gjorde at oksygenivåene holdt seg like.

Telling

Selv om utilstrekkelig mengde fikseringsmiddel ble tilsatt prøvene før lagring, ble samme mengde brukt på begge prøvene. Det betyr at tilstanden til algene i bøtte #2 var værre enn i bøtte # 1, selv om vi ikke er sikre på om videre nedbrytning skjedde under lagring.

Vannbytte

Ettersom vann inneholder mer næringsstoffer jo dypere det ligger (Dale & Hovgaard, 1993), hadde det optimale vært å bruke vann fra pumpen som hentet vann fra 100 m under hele kultiveringsperioden, men denne pumpen var dessverre ut av drift etter 28. mars og vi måtte nøye oss med vann fra 50 m resten av tiden.

I perioden 1991-1993 undersøkte Torbjørn Dale og Peter Hovgaard næringsinnholdet på forskjellige vanddybder i Sogndalsfjorden ved akvakulteren på Skjer (Dale & Hovgaard, 1993). Verdiene de fant er oppgitt i tabell 26. Målingene ble tatt på våren.

Tabell 26: Næringsinnhold på forskjellige dyp i Sogndalsfjorden ved Skjer i 1991 og 1993. Silkat (Si), ortofosfat (P) og nitrat + nitritt (N) er oppgitt som $\mu\text{mol/l}$. Data hentet fra: Dale & Hovgaard (1993).

Dyp (m)	20.03.91			20.04.93		
	Si	P	N	Si	P	N
1	2	0,1	0,36	0,36	0,06	<0,36
5	0,2	0,06	<0,36	0,71	0,06	<0,36
10	5,4	2,58	4,86	0,36	0,06	<0,36
25	8,6	0,68	9,29	11,43	0,72	11,79
50	7,9	0,65	9	13,57	0,9	11,79
100	22,1	1,13	14	22,1	1	13,91
150	26,3	1,32	14,42	25	1,32	15
200	28,4	1,32	14,42	27,86	1,39	14,64
250	29,1	1,35	14,42	30	1,52	15

Tabell 26 illustrerer godt forskjellene i næringsinnhold. Dypene relevante for vår oppgave er markert med blått. Man kan se store forskjeller på 50 m og 100 m dyp, spesielt verdiene for Si. Selv om det 24-26 år siden målingene ble tatt, kan man anta at verdiene i dag ligner på disse. Vi hadde to perioder hvor det ikke ble gjødslet, i den ene ble det brukt vann fra 100 m og i den andre fra 50 m. Forskjellene i næringsinnhold er sannsynligvis forklaringen på at veksten var langt dårligere i perioden med vann fra 50 m.

Tilstedeværelsen av noen typer bakterier i sjøvann kan hindre veksten til mikroalger (Fukami *et al.*, 1997). Vi hadde flere teorier om hva som var grunnen til den dårlige produksjonen fram til 01. april. En av de var at bakterier hemmet veksten til *S. costatum* ved enten å konkurrere om næringen eller ved å skille ut stoffer som hemmet veksten til algene. Vannbytter var var nødvendige for å heve temperaturen i karet og for å tilføre sporstoffer, og en sideeffekt av disse byttene kan ha vært at de vannet ut eventuelle bakteriekulturer som hadde blomstret opp i karet.

Konsentrering

Filtrering

Småskala forsøk

Prototype for mikrometerduksfiltrering

22.03.17.

Vannet fra 100 meters dyp hadde lite alger og tilstoppingen av filterdukene var ubetydelig i løpet av testperioden. I og med at den lille prototypen håndterte en relativt stor vannmengde, tilsvarende ca 276 l/t, konkluderte vi med at det ville være interessant å gjøre et filtreringsforsøk i større skala og med vann fra algekulturen vi hadde i karet. Dette for å undersøke om tilstopping av filterduker og overrenning ville bli et problem med vann som har en høyere algetetthet.

Stack filter

06.04.17

Forsøket ble gjort for å se hvor mye mikroalger de forskjellige maskeviddene fanget opp.

At 63 µm filteret i dette forsøket fanget opp majoriteten av mikroalgene tyder på at et ekstra filter med større maskevidde, under filtreringsprosessen i etterkant av elektroforesen, kunne begrenset tilstoppingen i filterbøttene med 20 µm duk. Dette da algene kunne fordelt seg over et større filterareal med flere oppsamlingsnivåer. Det kan likevel ikke utelukkes at et slikt 63 µm filter også ville fått tilstoppingsproblemer.

Storskala forsøk

Mikrometerduksfiltrering i stablede bøtter

28.03.17

Vi var optimistiske til denne metoden siden prototypen hadde klart å håndtere en relativt stor vanngjennomstrømning, riktig nok med 100-metersvann som omtrent ikke inneholder alger. Det viste seg raskt at algevann tilstopper den fineste filterduken etter veldig kort tid og vi hadde store problemer med å filtrere siden vanngjennomstrømningen måtte justeres kontinuerlig. Det ble raskt klart at denne metoden er uegnet til å filtrere en større mengde vann på bakgrunn av hvor sakte vannet filtreres etter litt tilstopping.

Utfelling

Småskala forsøk

pH-indusert flokkulering

På grunn av utilstrekkelig pH økning ble forsøket mislykket. Det gikk fort opp for oss at konsentrasjonen av amoniakk, og dermed pH, i salmiakk var for lav. Salmiakk ble brukt fordi det var det eneste vi hadde for hånden som inneholdt ett av stoffene som var anbefalt for pH flokkulering. I følge Pérez *et al.* (2016) og Schlesinger *et al.* (2012) er natriumhydroksid (NaOH) og Kalsiumhydroksid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) to gode alternativ. Pérez *et al.* (2016) oppnådde opp mot 100 % flokkulering av *S. costatum* ved å øke pH til 12 med NaOH etter 2 timer. pH-flokkulering med NaOH ble vurdert som en metode av oss fordi det er relativt kostnadseffektivt og ukomplisert, og ikke giftig (Schlesinger *et al.*, 2012), men ble skrinlagt til fordel for elektroforese. NaOH får man kjøpt i dagligvarebutikk som kaustisk soda, og $\text{Ca}(\text{OH})_2$ får man på felleskjøpet i form av dokalk. Metoden vil føre til at algene sedimentere, som er ypperlig for oss med tanke på at vi brukte en sedimentasjonstank med ventil i bunnen. I tillegg kan vannet brukes om igjen etter endt flokkulering etter å ha nøytralisert pH ved bruk av saltsyre (HCl), som betyr tids- og kostnadsbesparelser. En annen studie hvor de tok for seg pH flokkulering med NaOH, av *Chlorella sp.*, oppnådde de til og med bedre vekst etter nøytralisering (Yang *et al.*, 2016).

Elektroforese

Småskala forsøk

Rustfri ståltråd

31.03.17. Forsøk ble mislykket ettersom sterk oksidering fra ståltråden tilkoblet det positivt ladde polen forurenset vannet. At det tydelig ble dannet hydrogenbobler langs ståltråden koblet til den negative polen viste likevel at metoden hadde potensial. Det ble derfor gjort videre forsøk på å finne rett materiale.

Karbonbiter – Test 1

01.04.17. Forsøket ble mislykket da karbonbitene antageligvis ikke ledet elektrisitet godt nok til å produsere tilstrekkelig med hydrogenbobler.

Rustfri stålskrubb – Test 1

02.04.17. Forsøket ble mislykket da det meste av algene så ut til å ha sprukket. Stålskrubben ledet likevel en tilstrekkelig mengde med elektrisitet til at algene fløt til overflaten. Oksidering virket også å være gjentakende problem ved bruk av stålmaterialer, selv om de var markert som «rustfrie».

Karbonbiter – Test 2

02.04.17. Forsøket ble avbrutt da karbonbiten begynte å smelte, trolig på grunn av et tynt lag med plast på utsiden. Strømtilførselen fra mopedbatteriet var mest sannsynlig for kraftig.

Rustfri stålskje

02.04.17. Forsøket ble mislykket og raskt avbrutt da oksidering forurenset vannet. Enda en gang hadde et «rustfritt» materiale begynt å oksidere, som igjen pekte på at strømtilførselen fra mopedbatteriet var for kraftig.

Rustfri stålskrubb – Test 2

02.04.17. Forsøket ble mislykket da stålskrubben gikk i oppløsning. Bruken av glasskrukke gav bedre innsyn i de forskjellige effektene prosessen hadde i algevannet rundt de to stålskrubb bitene. Vi besluttet at mopedbatteriet måtte kasseres til fordel for en annen løsning, da gjentatte forsøk tydet på at det var for kraftig.

Aluminiumsfolie – Test 1

03.04.17. Forsøket ble vellykket ettersom algene fløt til overflaten uten synlig forurensing av vannet. Kombinasjonen av aluminiumsfolie og en ny justerbar strømtilførsel gav umiddelbart mer lovende resultater.

Aluminiumsfolie – Test 2

03.04.17. Forsøket ble vellykket ettersom algene fløt til overflaten uten synlig forurensing av vannet. Da bruk av magnetrører ikke hadde noen observerbar innvirkning på flokkuleringshastigheten, ble det vurdert som unødvendig å ha en lignende prosess i en storskala metode.

Aluminiumsfolie – Test 3

03.04.17. Forsøket ble vellykket ettersom algene fløt til overflaten uten synlig forurensing av vannet. Da dobling av amperestyrken ikke resulterte i raskere flokkulering, trass i synlig flere bobler i vannet, ble også dette vurdert som unødvendig i en storskala metode.

Storskala

Testkjøring av elektroforese og filtrering

04.04.17. Forsøket ble vellykket da store mengder alger fløt til overflaten, som gjorde de enkle å samle inn. Prosessen var litt tidskrevende, da vi måtte stå og øse i en time, samtidig som vi måtte passe på å overføre minst mulig vann for å begrense tilstopping i filterdukene. Prosessen var likevel mye mer effektiv enn å sifonere vann direkte fra hovedkaret og ned i filtrene. Innsamlingen kunne fremdeles blitt effektivisert med bedre utstyr.

Endelig konsentreringsmetode

Fullskala elektroforese og filtrering

06.04.17. Forsøket ble vellykket da store mengder alger fløt til overflaten, som gjorde de enkle å samle inn. Doblingen av sifonert vannmengde ned i elektroforesekaret kombinert med en tilnærmet dobling i klorofyllnivå siden forrige forsøk 04.04.17, gav også mer enn firedobbelt så mye alger i vannoverflaten. Prosessen var minst like tidskrevende som før og nøyaktig og presis innsamling var fortsatt nødvendig for å hindre tilstopping i mikrometerduksfiltrene.

«Sluk-metoden», brukt etter ordinær innsamling, var en rask måte å samle inn algene fra overflatevannet på, men den var fremdeles unøyaktig. Der ordinær innsamling via forsiktig øsing gav mye mer kontroll over vannmengden i mikrometerduksfiltrene, førte «sluk-metoden» til at filtreringstiden ble mer enn doblet, til rundt 3 timer. Denne tiden kunne muligens blitt brukt mer effektiv til forsiktig innsamling og raskere filtrering.

En våtvekt på 553,40 gram etter elektroforesing av omtrent 1000 liter algevann, med en klorofyllverdi rundt 80, tilsvarer omtrent 14,3 % av den rundt 7000 liter store algekulturen i hovedkaret. Dette tilsier at en elektroforesing av hele kulturen kunne gitt en biomasse med en våtvekt på omtrent 3,87 kilogram. Lekkasje i hovedkaret, og det resulterende tapet av mesteparten av algekulturen, hindret oss i å bekrefte dette.

Ettersom pH målingen før og etter elektroforesen viste en neglisjerbar nedgang på 0,02, så tilsier det at prosessen gjør vannet litt surere, men ikke på et nivå som vil ha en skadelig påvirkning på algekulturen.

Ut fra totalt energiforbruk regnet vi ut prisen for strømmen som ble brukt (SSB, 2017)

$$0,07393 \text{ kWh} \cdot 0,29 \text{ NOK/kWh} = 0,0221 \text{ NOK} \quad (15)$$

Og ut fra mengden anoden ble redusert med regnet vi ut prisen for aluminiumet som ble brukt (LME, 2017; NB, 2017).

$$0,003207 \text{ kg} \cdot 16,375 \text{ NOK/kg} = 0,0525 \text{ NOK} \quad (16)$$

Algetelling

Prøver fra karet

I de to siste prøvene fra 04. og 06. april fant vi kun *S. costatum*, og det kan derfor konkluderes med at vi lyktes i å isolere *S. costatum* ved bruk av Wells Glancy metoden.

I forholdstallene for klorofyll og antall celler er det en del uregelmessigheter. I teorien burde alle være noenlunde like, men det er til dels store forskjeller. Forholdstallet ser ut til å øke ved lave klorofyllverdier, og synke ved høye klorofyllverdier. I tillegg er verdiene generelt sett lave sammenlignet med Bjørndal *et al.* (2016) sine verdier. Prøve P-13 med 4,64 forholdstall ble hentet fra karet på en dag det ble utført et vannbytte, og vi antar en loggføringsfeil er årsaken til den høye verdien. Selv om denne utelukkes er det en del andre verdier som framstår som merkelige. P-24 er helt nede på 0,04 og P-11 er oppe på 3,04. Noe av det kan forklares med at ved lave algekonsentrasjoner skal det mindre til å få uregelmessigheter. Klorofyllverdiene som antallet vurderes opp mot er hentet fra CTD dataene, og er regnet ut som gjennomsnitt av omtrent 30 enkeltmålinger. Mikroalgene er ikke nødvendigvis jevnt fordelt i vannmassene. så når man tar ett prøvevolum på 50 ml er det rom for at feil oppstår. En annen ting som sannsynligvis er grunnen til de varierende forholdstallene er variasjoner i klorofyllet i hver celle. Vi observerte til dels store forskjeller mellom prøvene. I noen så cellene friske ut med normale mengder klorofyll, mens i andre var de redusert til $\frac{1}{4}$ av normal mengde. Selv om celler i noen prøver hadde reduserte mengde klorofyll ble de telt som én celle. En forskjell på fulle celler og celler med bare $\frac{1}{4}$ klorofyll vil gi tilsvarende forskjeller i forholdstallene.

Prøver fra fullskala elektroforese og filtreringsvann

Elektroforesevann

I denne prøven var gjennomsnittlig antall celler per kjede veldig lav, bare 2,28, i forhold til karet på 7 m³ hvor snittet var 5.09 celler/kjede. En av grunnene til det lave gjennomsnittet kan være at elektroforeseprosessen sannsynligvis favoriserer lange kjeder. Ifølge Takabayashi *et al.* (2006) synker korte kjeder raskere enn lange, slik at algene som fløt opp til overflaten under elektroforesen var de lengste, mens de korteste brukte lengre tid eller ikke fløt opp i det hele tatt. I tillegg vil korte kjeder har vanskeligere for å flokkulere sammen med andre kjeder. Under elektroforese vil boblene med hydrogen og oksygen som stiger til overflaten ha lettere for å dra med seg store klumper med flokkulerte kjeder, enn individuelle kjeder. Høsting av algene på overflaten vil dermed føre til et lavere gjennomsnittlig celleantall enn hva utgangspunktet var før elektroforesen.

Filtreringsvann

Telling av filtrert vann viser at overraskende mange celler kom seg gjennom filteret. Hvis man tar utgangspunkt i verdiene vi fikk fra en annen prøve tatt fra karet, P-40, hvor telte celler var 436 millioner og klorofyll $80 \mu\text{g l}^{-1}$, kan man regne seg fram til at de 603 millionene i denne prøven tilsvarer omtrent $110 \mu\text{g l}^{-1}$ klorofyll. Gjennomsnitt celler per kjede i prøven er to, som betyr at filteret på $20 \mu\text{m}$ slipper igjennom de fleste 1 og 2 celledede kjedene, men holder igjen det meste av lengre kjeder. Med tanke på at *S. costatum* opptrer i lengder mellom $2 - 61 \mu\text{m}$ så er dette ett bra resultat (EOAS, 2012). Tilstoppingen med alger på filteret bidro sannsynligvis til ekstra filtrering. Noen lange kjeder ble observert, disse har sannsynligvis truffet maskene i filteret på langs og kommet seg igjennom på den måten. Hvis vår teori om at luftingen i karet er så kraftig at den mekanisk «brekker» kjedene stemmer, så kan det være et argument for å senke trykket på luftingen for å redusere mengden som kommer seg igjennom filteret.

Sedimenteringstest

15.05.17

Bakgrunnen for forsøket var at det var en del variasjon i forholdstallene mellom klorofyll og celler i prøvene fra algetellingen. Vi hadde også større variasjon sammenlignet med resultatene i fjorårets bacheloroppgave som vi bygger på (Bjørndal *et al.*, 2016).

Dette indikerer at det kan ha forekommet en unøyaktighet eller feil ved tellemetoden vår.

En teori på de høye forholdstallene, kan være at algene ikke sedimenterte godt nok eller at flyteevnen til algene var for høy i noen av prøvene. Forskjellen mellom fjorårets bacheloroppgave og vår, er at vi har hatt andre gjødslingsrutiner i og med at vi innførte en ny type gjødsel og brukte andre doseringer.

En mulig forklaring til påvirkning av flyteevne kan være at næringstilgangen har variert gjennom prosjektet. Dersom næringstilgangen har vært god kan dette ha ført til at karbohydrater som blir akkumulert i løpet av fotosyntesen, blir omdannet til proteiner som igjen vil kunne gi en bedre flyteevne. Ved næringsmangel er det mulig at karbohydratene ikke har konvertert til protein og dermed vil ha lettere for å synke (Richardson & Cullen, 1995).

Det er umulig å trekke noen endelig konklusjon på bakgrunn av en enkelt test, men den indikerer at majoriteten av algene vil sedimentere seg på bunnen. De forholdsvis like resultatene fra prøvene tatt på overflaten og i midten, antyder at algekonsentrasjonen kan være ganske stabil i vannet som

befinner seg over det sedimenterte laget helt på bunnen. Dersom dette er tilfellet kan det potensielt være noen alger som ikke blir fanget opp med algetellingsmetoden som har blitt benyttet.

Med utgangspunkt i 630 observerte celler på 18.72 mm², kalkulert til 17867 celler for hele arealet i prøven på 3 ml, er det en teoretisk mulighet for at det kan være ca 279 916 celler i de øverste 47 ml av prøven som ikke har sedimentert forutsatt at konsentrasjonen er lik i hele sedimentasjonsrøret. Dersom dette er riktig vil det vil det kunne gi en feilmargin på 5 955 659 celler per liter i vannprøver som har en konsentrasjon tilsvarende P-29. Dette tilsvarer omtrent 3,88 % av tidligere beregnet algekonsentrasjon i P-29, og kan isåfall kun forklare en liten del på noen av forholdstallene. Det er stor usikkerhet til om dette er representabelt for flere prøver enn P-29, og det kan heller ikke utelukkes at en eventuell utvanning av prøven kunne påvirket utfallet av testen.

Dette viser kun at noen alger, under visse forhold, fortsatt kan flyte etter å ha sedimentert i omtrent 24 timer. Forsøket ble ansett som vellykket i og med at målet var å undersøke om det var en mulighet for at vi hadde alger som fløt i vannet i sedimenteringssylinderen, etter sedimenteringsperioden på 24 timer var over.

Beregning av glødetap

På grunn av at *S. costatum* sine cellevegger er bygget opp av silisium var det forventet at det ville etterlates en del aske ved forbrenning av algene. *S. Costatum* kan ha opp til 30 % silisiuminnhold, avhengig av faktorer som tidspunkt på døgnet, næringstilgang og saliniteten i sjøvannet (Jungandreas et al., 2012). Vi oppnådde et gjennomsnittelig glødetap på 67.26 %, noe som virker sannsynlig på bakgrunn av dette. Grunnen til at vi hadde et glødetap på under 70 % kan sannsynligvis forklares med at algene inneholdt en del proteiner, og delevis på grunn av at det er noe usikkerhet om nøyaktig salinitet siden vannet i de konsentrerte algene ikke ble målt for dette.

Utbytte og kostnadseffektivitet

Elektroforese i 1 m³: Energiinnhold, strømbruk og kostnader

Som vi fant ut i diskusjon – beregning av glødetap, var organisk askefri vekt av de algene vi klarte å hente ut i fra 1 m³ med elektrolyse og filtrering, 16,0274 g, som tilsvarer 80,00769 Kcal. Omregnet til kJ blir det 336,3232 kJ.

Energiinnholdet i 1 kJ tilsvarer energiinnholdet i $2,7778 \times 10^{-6}$ kWh som betyr at energiinnholdet oppgitt i kWh er

$$336,3232 \text{ kJ} \times (2,7778 \times 10^{-6}) = 0,0934 \text{ kWh} \quad (17)$$

Strømbruken for elektroforesen ble regnet ut til å være 0,07393 kWh i kapittelet «Endelig metode». Netto overskudd blir da

$$0,0934 \text{ kWh} - 0,07393 \text{ kWh} = 0,01947 \text{ kWh} \quad (18)$$

0,01947 kWh tilsvarer 20,845 % av 0,0934 kWh.

For å produsere ett tonn aluminium kreves det, gjennomsnittlig på verdensbasis, 14 239 kWh (World Aluminium. 2016, 18.07). Omregnet til gram blir det da 0,014239 kWh per gram.

Tap av aluminium fra anoden under ble regnet ut i kapittelet «resultat- storskala elektroforese» til å være 3,207 g.

Netto energiregnskap blir da

$$0,01947 \text{ kWh} - (3,207 \text{ g} \times 0,014239 \text{ kWh}) = -0,026194 \text{ kWh} \quad (19)$$

I følge London metal exchange (LME. 2017), var den 31.05.17 prisen på ett tonn aluminium 1943 USD. Basert på dollarprisen fra NB (2017) på 8,4117 NOK den 31.05.17 tilsvarer dette 0,052 NOK for de 3,207 g aluminium som vi tapte fra anoden. Total økonomisk kostnad for elektrolyseprosessen blir prisen av tapt aluminium + prisen av forbrukt strøm, 0,052 NOK + 0,0221 NOK = 0,0741 NOK.

Tallene vi har kommet fram til her reflekterer ikke kostnader og strømbruk for en optimal elektroforese. På grunn av feilberegninger brukte vi langt mer enn nødvendig strømtetthet (A/cm^2) på anoden. Dette kan ha ført til høyere strøm- og aluminiumsforbruk enn nødvendig. I tillegg regnet det mens elektroforesen ble gjort, som førte til at de flokkulerte algene ble slått ned fra overflaten. Dette reduserte effektiviteten og elektroforesen tok lengre tid enn nødvendig, som igjen førte til økt strømbruk.

På en annen side så vet vi fra tidligere kjent kunnskap at alger i tørrvekt ble høstet med en energitetthet på 0,2 Wh/g til 2,1 Wh/g (Al Hattab *et al.*, 2015). Mens vi høstet alger i tørrvekt med en energitetthet på 3,1 Wh/g. Dette er ikke en vesentlig forskjell med tanke på energi, men med høyere energibruk blir det oppløst mer aluminium (Al Hattab *et al.*, 2015).

Teoretisk produksjon i karet

Dersom vi fikk til en fordobling av chl a/l hver dag, kunne vi i teorien ha filtrert $3,5 m^3$ vann, 50% av karet per døgn, og opprettholdt denne produksjonen ved å erstatte det filtrerte vannet med nytt fjordvann.

En mulig teoretisk produksjon av tørr biomasse per dag, basert på høstingseffektiviteten til elektroforesen og en klorofyllverdi på $80,36 \mu g$ chl a/l i $3,5 m^3$ per dag, blir da

$$23,8082 g \times 3,5 m^3 = 83,33 g \quad (20)$$

På bakgrunn av resultatene fra glødetapsforsøket, tilsvarer $83,33 g$ tørrvekt $56,0535 g$ organisk askefri vekt, som betyr at energiinnholdet i dagsproduksjonen ville vært $80,00769 Kcal/m^3 \times 3,5 m^3 = 280.02 Kcal$.

Konklusjon

Det tok lengre tid en forventet, men vi klarte å oppnå en brukbar algetetthet i karet før konsentrering. Forsøket med ulike gjødselstyper viste at det å bruke gjødsel med sporstoffer er viktig for å få en vekstrate som tillater høsting én gang per dag.

Etter mange småskala forsøk og litteratursøk kom vi fram til at aluminium er det mest effektive materialet å bruke som elektrode i elektroforeseforsøket.

Desverre fikk vi ikke utført fullskala elektroforese på mer enn 1 m³ vann på grunn av lekkasjen, men vi mener likevel at det ene forsøket vi fikk gjort var velykket. Vi greide å konsentrere majoriteten av algene ved elektroforese, men siden vi brukte høyere strømtetthet enn nødvendig, fikk vi ikke en kostnadseffektiv konsentrering av *Skeletonema costatum*.

Til tross for at værforholdene ikke var ideelle, lyktes vi med å hente ut ca 86,5 % av algene fra 1 m³ karet ved hjelp av elektroforese, som er på høyde med resultater fra andre studier. Dette mener vi viser at elektroforese er en metode med potensiale. Vi vil anbefale at det utføres ytterlige studier under mer kontrollerbare forhold for å se om dette kan forbedre effektiviteten, for eksempel ved å skjerme elektroforesekaret, slik at regn og vind ikke presser algene ned fra vannoverflaten.

Videre vil utbedring av teknikk for innsamling av flokkulerte og floterte alger muligens kunne bidra til økt effektivitet, da vår metode var noe upresis og gav en mer utvannet algekonsentrasjon enn ideelt.

For ytterlige avvanning av konsentratet brukte vi som nevnt mikrometerduk i en konstruksjon med bøtter og tau. Ettersom tilstopping gjorde at denne ikke fungerte tilstrekkelig anbefaler vi å enten øke vanntrykket og/eller arealet på duken, eller å finne en annen metode for siste del av konsentreringsprosessen.

Litteratur

Andersen, R. A. 2005. *Algal culturing techniques*. Burlington: Elsevier academic press

Anne Jungandreas, Heiko Wagner & Christian Wilhelm. 2012. Simultaneous Measurement of the Silicon Content and Physiological Parameters by FTIR Spectroscopy in Diatoms with Siliceous Cell Walls. *plant & cell physiology*, 53(12): 2153–2162

ANON 1965. Method of raising shellfish seed in a simulated habitat. Google Patents

Al Hattab, M., Ghaly, A. & Hammouda, A. 2015. Microalgae harvesting methods for industrial production of biodiesel: Critical review and comparative analysis. *J Fundam Renewable Energy Appl*, 5(2), 1-26.

Bjørndal, O., Eidsbråten, C. J. & Østby, A. F. 2016. Development of a method for cultivating and monitoring the growth of *Skeletonema costatum*. Based on the Wells-Glancy method. (Bachelor's thesis). *Høgskulen i Sogn og Fjordane*, 1-104.

Colijn, F., Gjeskes, W. W. C., Joordens, J. C. A., Koeman, R. & Peperzak, L. (2003). Phytoplankton sinking rates in the Rhine region of freshwater influence. *J Plankton Research*, 25(4), 365-383.

Coons, J. E., Kalb, D. M., Dale, T. & Marrone, B. L. 2014. Getting to low-cost algal biofuels: A monograph on conventional and cutting-edge harvesting and extraction technologies. *Algal Research* 6, 250-270.

Dale, T. 2017. Identifikasjon Marint planteplankton *Høgskulen i Sogn og Fjordane*

Dale, T., & Hovgaard, P. 1993. En undersøkelse av resipientforholdene i Sogndalsfjorden, Barsnesfjorden og Kaupangerfjorden. I perioden 1991-1993. *Rapport fra Sogn og Fjordane Distrikts Høgskule, Skrifter nummer, 3*, 1993.

Dannevig, P. 2009. Luft. *Store norske leksikon*.

Dassey, A. J. & Theegala, C. S. 2014. Reducing electrocoagulation harvesting costs for practical microalgal biodiesel production. *Environmental Technology*, 35(6), 691-697.

Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., ... & Kriemann, B. 2014. Climate change 2014: Mitigation of climate change. *Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 511-597.

- EOAS. 2012. Phyto'pedia: The Phytoplankton Encyclopedia Project. Hentet 28.05.2017 fra https://www.eoas.ubc.ca/research/phytoplankton/diatoms/centric/skeletonema/s_costatum.html
- EOL. 2017. Diatoms. Hentet 30.05.17 fra <http://eol.org/pages/3685/overview>
- Fukami, K., Nishijima, T., & Ishida, Y. 1997. Stimulative and inhibitory effects of bacteria on the growth of microalgae. In *Live food in aquaculture*, 185-191.
- LME. 2017, 30.05. LME Aluminium. Hentet fra <http://lme.com/en-gb/metals/non-ferrous/aluminium/>.
- NB. 2017, 31.05. Valuttakurser. Hentet fra <http://www.norges-bank.no/Statistikk/Valutakurser/>
- Ribeiro, S. K., Kobayashi, S., Beuthe, M., Gasca, J., Greene, D., Lee, D. S., Muromachi, Y., Newton, P. J., Plotkin, S., Sperling, D., Wit, R., & Zhou, P. J. 2007. Transport and its infrastructure. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 323-385.
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., ... & Dubash, N. K. 2014. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1-112.
- Peperzak, L., Colijn, F., Koeman, R., Gieskes, W. W. C., & Joordens, J. C. A. (2003). Phytoplankton sinking rates in the Rhine region of freshwater influence. *Journal of Plankton Research*, 25(4), 365-383.
- Pérez, L., Salgueiro, J. L., Maceiras, R., Cancela, A., & Sánchez, A. (2016). An effective method for harvesting of marine microalgae: pH induced flocculation. *Biomass and Bioenergy*, 97, 20-26.
- Takabayashi, M., Lew, K., Johnson, A., Marchi, A. L., Dugdale, R., & Wilkerson, F. P. 2006. The effect of nutrient availability and temperature on chain length of the diatom, *Skeletonema costatum*. *Journal of Plankton Research*, 28(9), 831-840.
- Richardson, T. L. & Cullen J. J. 1995.. Changes in buoyancy and chemical composition during growth of a coastal diatom: ecological and biogeochemical consequences. *Marine ecology progress series*, 128, 77-89.
- Salim, S., Bosma, R., Vermuë, M. H. & Wijffels, R. H. 2010. Harvesting of microalgae by bio-flocculation. *J Appl Phycol*, 23(5): 849-855.

Schlesinger, A., Eisenstadt, D., Bar-Gil, A., Carmely, H., Einbinder, S., & Gressel, J. 2012. Inexpensive non-toxic flocculation of microalgae contradicts theories; overcoming a major hurdle to bulk algal production. *Biotechnology advances*, 30(5), 1023-1030.

SSB. 2017, 31.05. Elektrisitetspriser. Hentet fra <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elkraftpris/kvartal>

Tangen, K., & Sournia, A. 1978. Phytoplankton Manual. *Phytoplankton Manual*, Unesco.

Thronsdén, J. Eikrem, W. 2001. Marine mikroalger i farger, Almater Forlag AS.

Thronsdén, J. 2009. *Skeletonema costatum*. Store norske leksikon.

World Aluminium. 2016, 18.07. Primary Aluminium Smelting Eenergy Intensity. Hentet fra <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-smelting-energy-intensity/>.

Yang, Y., Xiang, W., Fan, J., WuTao, H., & Long, L. (2016). High pH-induced flocculation of marine *Chlorella* sp. for biofuel production. *Journal of Applied Phycology*, 28 (2), 747–756.

Yara Norge AS (2014). *Gjødselhåndbok 2014/2015*. Oslo: Yara Norge AS.

Hentet fra <http://www.yara.no/gjodsel/Tools-and-Services/brosjyrebestilling/>

Ziolkowska, J. R., & Simon, L. 2014. Recent developments and prospects for algae-based fuels in the US. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 847-853.

Appendix

Hoveddata

Tabell 27 viser hoveddata samlet inn med CTD apparatet i hovedkaret løpet av eksperimentet, fra 28. februar til 22. mars. Tallene representerer de gjennomsnittlige målingene for de aktuelle dagene og tidspunktene. De gule datoene indikerer at målingen var tatt etter vannbytte, mens den oransje datoen viser målingen tatt etter inokuleringen av algekulturen i karet.

Tabell 27: Hoveddata samlet inn, via CTD apparat, i løpet av eksperimentet.

Dato	Tid	Salinitet	Temperatur	Klorofyll	Turbiditet	Oksygen
dd/mm/åå	tt/mm/ss	(‰)	(°C)	(µg/l)	(FTU)	(%)
28.02.2017	13:08:27	34,07	8,34	0,09	0,66	81,99
28.02.2017	13:59:43	33,90	8,30	0,11	0,66	84,43
02.03.2017	18:10:51	31,49	4,19	0,20	0,66	110,46
04.03.2017	17:52:38	33,77	3,42	0,30	0,66	112,52
06.03.2017	15:40:08	33,25	1,73	4,17	0,66	100,78
06.03.2017	17:49:09	34,27	4,50	0,30	0,66	85,32
08.03.2017	16:00:32	34,49	1,25	0,51	0,66	102,52
08.03.2017	17:21:49	34,35	3,02	0,50	0,66	85,41
10.03.2017	15:34:38	32,55	2,50	0,50	0,66	116,30
12.03.2017	15:44:04	33,07	3,10	1,29	0,66	106,32
14.03.2017	15:51:23	30,73	4,13	4,10	0,66	102,22
16.03.2017	15:34:44	28,03	4,87	7,33	0,66	103,15
18.03.2017	16:29:20	31,19	4,74	17,73	0,66	102,14
19.03.2017	15:36:26	31,77	3,58	15,79	0,66	106,11
20.03.2017	15:51:04	28,26	3,56	7,62	0,66	101,57
20.03.2017	18:06:49	32,67	5,50	13,20	0,66	90,80
21.03.2017	15:54:58	30,18	5,90	5,23	0,66	100,26
22.03.2017	18:03:45	32,16	4,50	13,40	0,66	102,71
23.03.2017	10:22:54	32,56	2,72	4,76	0,66	104,76
23.03.2017	11:56:37	28,73	3,68	4,20	0,66	102,77
23.03.2017	15:21:35	31,93	4,72	2,77	0,66	104,53
24.03.2017	15:58:09	31,92	4,16	15,05	0,66	102,49
25.03.2017	15:31:59	30,12	6,04	10,24	0,66	106,03
26.03.2017	14:59:01	32,30	7,63	10,10	0,66	107,86
27.03.2017	14:27:12	31,69	9,17	11,04	0,66	108,50
28.03.2017	08:28:11	30,91	7,54	23,94	0,66	104,64
28.03.2017	14:41:50	29,78	8,15	18,94	0,66	104,73
28.03.2017	23:22:03	33,58	8,42	9,82	0,66	106,68
29.03.2017	09:27:04	33,61	7,15	5,89	0,66	102,15
29.03.2017	15:50:58	27,63	8,81	1,86	0,66	103,56
30.03.2017	15:41:12	33,04	5,18	5,77	0,66	105,32

31.03.2017	15:32:16	33,26	5,30	5,55	0,66	105,83
01.04.2017	15:27:06	32,54	6,09	11,86	0,66	104,95
02.04.2017	15:27:27	32,95	7,55	20,85	0,66	106,25
03.04.2017	15:57:47	33,04	9,36	28,51	0,66	114,53
04.04.2017	15:23:31	32,88	7,85	49,65	0,66	112,99
04.04.2017	18:52:29	32,89	7,93	46,18	0,66	132,86
05.04.2017	15:30:57	31,89	7,60	44,18	0,66	114,03
05.04.2017	19:33:22	31,40	7,96	68,27	0,66	110,19
05.04.2017	20:11:17	31,40	7,96	83,12	0,66	110,19
06.04.2017	15:42:36	31,72	6,45	80,36	0,66	116,85
08.04.2017	16:20:37	33,71	9,74	14,89	0,66	108,99
08.04.2017	20:37:52	33,93	8,94	4,77	0,66	104,26
09.04.2017	17:47:21	33,94	9,75	3,82	0,66	103,44
10.04.2017	18:16:47	33,93	8,60	6,03	0,66	104,20
11.04.2017	17:54:55	34,08	7,49	6,47	0,66	103,90
12.04.2017	18:11:17	33,89	7,75	4,04	0,66	103,30
13.04.2017	18:04:47	33,99	7,89	1,88	0,66	109,83
14.04.2017	18:00:29	34,00	9,13	1,41	0,66	103,17
15.04.2017	17:58:55	34,12	7,45	0,53	0,66	110,91
16.04.2017	18:22:59	33,97	5,76	0,36	0,66	106,10
17.04.2017	18:14:10	34,05	6,22	0,20	0,66	112,43
18.04.2017	18:04:22	34,08	8,66	0,13	0,66	110,05
19.04.2017	18:05:05	34,06	7,26	0,16	0,66	107,22
22.04.2017	18:41:06	33,63	8,55	0,09	0,66	102,27

Tabell 28 viser verdiene i hovedkaret etter tilførsel av nytt vann. Første måling 08. april er markert som vannbytte ettersom det ikke ble foretatt måling etter lekkasjen, og påfølgende vanntilførsel, 06. april.

Tabell 28: Etter vannbytte verdier.

Dato	Tid	Salinitet	Temperatur	Klorofyll	Turbiditet	Oksygen
dd/mm/åå	tt/mm/ss	(‰)	(°C)	(µg/l)	(FTU)	(%)
28.02.2017	13:59:43	33,90	8,30	0,11	0,66	84,43
06.03.2017	17:49:09	34,27	4,50	0,30	0,66	85,32
08.03.2017	17:21:49	34,35	3,02	0,50	0,66	85,41
20.03.2017	18:06:49	32,67	5,50	13,20	0,66	90,80
23.03.2017	11:56:37	28,73	3,68	4,20	0,66	102,77
28.03.2017	23:22:03	33,58	8,42	9,82	0,66	106,68
04.04.2017	18:52:29	32,89	7,93	46,18	0,66	132,86
08.04.2017	16:20:37	33,71	9,74	14,89	0,66	108,99
08.04.2017	20:37:52	33,93	8,94	4,77	0,66	104,26

Tabell 29 viser hoveddata samlet inn manuelt, med termometer og pH meter, fra hovedkaret i løpet av eksperimentet, fra 28. februar til 06. mars. Tallene representerer de faktiske verdiene fra målingene for de aktuelle dagene og tidspunktene. De gule datoene indikerer at målingen var tatt etter vannbytte, mens den oransje datoen viser målingen tatt etter inokuleringen av algekulturen i karet. Det ble ikke utført manuelle temperatur og pH målinger etter alle vannbytter.

Tabell 29: Hoveddata samlet inn, manuelt, i løpet av eksperimentet.

Dato	Tid	Temperatur	pH	Dato	Tid	Temperatur	pH
dd/mm/åå	tt/mm	(°C)		dd/mm/åå	tt/mm	(°C)	
28.02.2017	13:50		7,71	18.03.2017	15:10	4,8	
28.02.2017	18:30	7,5		18.03.2017	15:11		8,09
01.03.2017	08:15	5,4		19.03.2017	15:20		8,19
01.03.2017	18:30	5,2		19.03.2017	15:22	3,5	
02.03.2017	08:25	4,5		20.03.2017	15:38	3,5	8,04
02.03.2017	18:15	4	7,91	20.03.2017	17:55	5,4	8,97
03.03.2017	08:20	2		21.03.2017	15:38	5,8	
03.03.2017	18:30	2,4		21.03.2017	15:48		7,96
04.03.2017	08:10	1,1		22.03.2017	17:45	4,3	
04.03.2017	17:30	3,4	7,88	22.03.2017	17:53		8,16
05.03.2017	08:50	2,5		23.03.2017	15:28	4,9	
05.03.2017	17:00	3,2		23.03.2017	15:30		8,27
06.03.2017	15:07	1,9	7,87	24.03.2017	15:47		8,16
06.03.2017	17:30	4,8	7,81	24.03.2017	15:53	4,1	
07.03.2017	09:30	3		25.03.2017	15:20	5,9	
07.03.2017	16:57	3		25.03.2017	15:22		8,14
08.03.2017	09:28	1,2		26.03.2017	15:43	7,5	
08.03.2017	16:00	1,4	7,95	26.03.2017	15:45		8,39
08.03.2017	17:18	3	7,9	27.03.2017	15:15	9	8,35
09.03.2017	09:27	2		28.03.2017	15:25	8	8,3
09.03.2017	19:20	1,5		29.03.2017	15:39	8,4	
10.03.2017	09:34	1,1		29.03.2017	15:44		7,98
10.03.2017	15:27	2,2	7,88	30.03.2017	15:30	4,9	8,05
10.03.2017	18:51	2,2		31.03.2017	15:20	5,1	8,3
11.03.2017	09:28	2,2		01.04.2017	15:20	6,5	8,06
12.03.2017	15:39	3		02.04.2017	15:03	7,4	8,5
12.03.2017	15:43		7,92	03.04.2017	15:50	9	8,35
14.03.2017	15:35	4,1		04.04.2017	15:18		8,53
14.03.2017	15:50		7,93	04.04.2017	15:25	8,2	
16.03.2017	15:24	4,8		05.04.2017	15:23	7,3	8,53
16.03.2017	15:27		8,09	06.04.2017	15:25	6,2	8,42

Forsøk

Filtrering

Småskala forsøk

Prototype for mikrometerduksfiltrering

Prototypen ble laget for å se gjennomstrømmingseffektiviteten til de utvalgte filtrene og hvordan de ville reagere på den relativt lave algetettheten i vannet fra 100-meters dyp.

Dato	02.04.17
Materiale	Plastkopper, 125- og 20 µm filterduker, gummistriker og små pinner.
Metode	Plastkoppene ble montert oppå hverandre, ved hjelp av små pinner, hvor 125 µm duken var festet med strikk i den øvre koppen, og 20 µm duken i den nedre. I en periode på 10 minutter ble vann fra 100-meters dyp ført gjennom prototypen, hvor vannmengden var justert for å hindre overrenning
Resultat	Prototypen klarte å filtrere vannet i en hastighet på 4,6 liter/min (276 liter/t) uten overrenning. Den lave algetettheten i vannet fra 100 meters dyp gav en ubetydelig mengde med filtrert algemasse.
Vurdering	Forsøk vellykket. Resultatet indikerte at en slik filtreringsmetode var gjennomførbar i en større skala.

Stack-filter forsøk

06.04.17 ble det på oppfordring av veileder utført en test med stack-filter for å undersøke filtreringshastigheten og hvor mye alger de forskjellige maskestørrelsene kunne fange opp.

Algevann fra hovedkaret, samlet i en 18-liters bøtte, ble sifonert ned i stack-filteret. Stack-filteret slapp så ut vannet ut i en 18-liters bøtte hvor det var plassert en 20 µm filterduk.

Tid	Info	Vannstand i 18-liters bøtte
16:35	Startet filtrering	18 liter
17:06	Stoppet filtrering	4 liter
Sum filtreringsvolum		14 liter
Filtreringshastighet		2,93 liter per minutt

Utstyret ble veid på en elektronisk vekt før og etter forsøket, for å avgjøre våtvekten. Bunnplaten ble ikke veid i etterkant, da innholdet ble helt ut i bøtten med mikrometerfilteret.

Før test	Vekt før test	Vekt etter test	Sum våtvekt
125 mikrometer filter, topplate	272,73 g	277,18 g	4,45 g
63 mikrometer filter, mellomplate	259,98 g	280,98 g	21,00 g
Bunnplate der den filtrerte væsken renner ut.	521,30 g	Ikke målt	
18 liters bøtte med 20-mikrometer filter	561,30 g	570,26 g	8,96 g
Sum våtvekt			34,41 g

Storskala forsøk

Mikrometerduksfiltrering

Den første storskala filtreringstesten ble utført 28.03.17, med stablede 18-liters bøtter med påmonterte mikrometerduker.

Dato	28.03.17
Materiale	Sifoneringslange og to stablede 18-liters bøtter med påmonterte filterduker. 125 µm duk i den øverste bøtten, og 20 µm duk i den nederste.
Metode	En slange ble brukt til å sifonere vann fra 7m ³ -karet og ned i bøttefilteret. Vanntrykket ble justert ved å regulere høyden på slangen, med mål om å hindre overrenning. Utstyret ble veid før og etter bruk for å finne våtvekten. Etter filtreringen var unnagjort ble 20 µm duken demontert fra bøtten og klemt forsiktig for å presse ut det resterende vannet. Duken ble så veid.
Resultat	Tilstopping gjorde at algevannet ikke klarte å trenge gjennom filterdukene raskt nok, som introduserte behovet for kontinuerlig justering av vannmengden, og i flere tilfeller pauser i vanntilførselen. Forsøket ble avsluttet etter en time. Det var da sifonert ut en vannstand på 3 cm fra 7m ³ -karet. Veiingen viste en våtvekt på 5,0 g fra 20 µm duken.
Vurdering	Forsøk vellykket. Prosessen var svært tidskrevende sammenlignet med resultatet, men det fungerte.

Utfelling

Småskala forsøk

pH-fremkalt flokkulering

Det ble gjort et kort forsøk med ammoniakktilførsel i algevann for å se om det kunne fremtvinges et konsentrert bunnfall av algene. Det var mulighet for bunnfall ved en pH på 11.

Dato	02.04.17
Materiale	Salmiakflaske med 8 % ammoniakkinhold og en pH på 12.
Metode	Gilde kasse med vann fra 7m ³ -karet, gradvis tilsatt med salmiakk fra flasken.
Resultat	Salmiakflasken var bare 1/4 full og gikk dermed fort tom, men pH i Gildekassen gikk fra 8,15 til 10,24. Det ble ikke observert noe bunnfall.
Vurdering	Forsøk mislykket. For lav pH økning og mangel på bunnfall. Resultatet indikerte at det ville trenges en stor mengde ammoniakk i en fullskala filtreringsprosess. Metoden ble derfor skrinlagt.

Elektroforese

Småskala forsøk

Rustfri ståltråd.

Dato	31.03.17
Strømkilde	12V 9A mopedbatteri. Ikke mulig å justere strømstyrken
Materiale	Rustfri ståltråd tilkoblet hver sin pole på batteriet.
Metode	Ståltråden ble senket i en liten boks med algevann.
Resultat	Umiddelbar oksidering av ståltråden tilkoblet den positive polen. Gulfarging av vannet. Sterk dannelse av hydrogenbobler langs ståltråden koblet til den negative polen.
Vurdering	Forsøk mislykket. Sterk oksidering forurenset vannet. Dannelsen av hydrogenbobler viste likevel at metoden hadde potensial.

Karbonbiter - Test 1

Dato	01.04.17
Strømkilde	12V 9A mopedbatteri. Ikke mulig å justere strømstyrken
Materiale	Rustfri ståltråd tilkoblet hver sin pole på batteriet, og festet i to karbonbiter fra en ødelagt drone.
Metode	Karbonbitene ble senket i en liten boks, og en i Gilde kasse, med algevann. Liten boks: 15:40-16:00 Gilde boks: 16:10-17:10
Resultat	Det samlet seg ett tynt hvitt belegg i vannoverflaten. Det var ingen vesentlig forskjell mellom de to forsøkene, og ingen synlig konsentrasjon av alger, hverken på vannoverflaten eller i bunn. Det større arealet i Gilde kassen gav en noe svakere dannelse av hydrogenbobler enn i boksen. Det ble hverken observert oksidering eller en synlig konsentrasjon av alger.
Vurdering	Forsøket mislykket. Karbonbitene ledet antageligvis ikke elektrisitet godt nok til å produsere tilstrekkelig med hydrogenbobler.

Rustfri stålskrubb – Test 1

Dato	02.04.17
Strømkilde	12V 9A mopedbatteri. Ikke mulig å justere strømstyrken
Materiale	Rustfri ståltråd tilkoblet hver sin pole på batteriet, og festet i to separate biter rustfri stålskrubb.
Metode	Stålskrubben ble senket i en liten boks med algevann. Ble utført kontrolltest, med nytt algevann filtrert gjennom 20µm filter.
Resultat	Den første testen resulterte i et tykt grønt belegg på overflaten, som tydet på at cellene hadde sprukket og at celleinnholdet hadde lekket ut i vannet. Det ble dermed utført en kontrolltest. Kontrolltesten gav en veldig lik konsentrasjon av det grønne belegget, om noe mer brunt. Usikkert om det brune belegget var oksidering eller alger.
Vurdering	Forsøket mislykket. Det meste av algene så ut til å ha sprukket. Stålskrubben ledet likevel en tilstrekkelig mengde med elektrisitet til at algene fløt til overflaten.

Karbonbiter – Test 2

Dato	02.04.17
Strømkilde	12V 9A mopedbatteri. Ikke mulig å justere strømstyrken
Materiale	Rustfri ståltråd tilkoblet hver sin pole på batteriet, og festet i to karbonbiter fra en ødelagt drone
Metode	Karbonbitene ble senket i en glasskrukke med algevann. Liten boks byttet ut med glasskrukke for bedre innsyn.
Resultat	Noe av karbonbiten begynte umiddelbart å smelte. Ble konkludert at det muligens var plast på utsiden. Forsøk avbrutt.
Vurdering	Forsøket mislykket. Smelting av karbonbiten førte til at forsøket ble avbrutt.

Rustfri stålskje

Dato	02.04.17
Strømkilde	12V 9A mopedbatteri. Ikke mulig å justere strømstyrken
Materiale	Rustfri ståltråd tilkoblet hver sin pole på batteriet, og festet i to biter av en knekt rustfri stålskje.
Metode	Stålbitene ble senket i en glasskrukke med algevann. Liten boks byttet ut med glasskrukke for bedre innsyn.
Resultat	Stålbiten tilkoblet den positivt ladde siden begynte umiddelbart å oksidere. Forsøk avbrutt.
Vurdering	Forsøk mislykket. Oksidering forurenset algevannet.

Rustfri stålskrubb – Test 2

Dato	02.04.17
Strømkilde	12V 9A mopedbatteri. Ikke mulig å justere strømstyrken
Materiale	Rustfri ståltråd tilkoblet hver sin pole på batteriet, og festet i to separate biter rustfri stålskrubb.
Metode	Stålskrubben ble senket i en glasskrukke med algevann. Liten boks byttet ut med glasskrukke for bedre innsyn. De to stålskrubb bitene var adskilt med en skillevegg av tjukk teip, ettersom glassbeholderen var noe trangere enn den lille boksen.
Resultat	Stålskrubben koblet til den positivt ladde polen gikk i oppløsning, med mye bunnfall. Det var et klart skille mellom en grønn væske på den positive siden og en mer brun og klarere væske på den negative siden.
Vurdering	Forsøk mislykket. Stålskrubben gikk i oppløsning, men skillet viste en interessant forskjell ved de forskjellige sidene, hvor algefloteringen muligens fungerte rundt den negativt ladde stålskrubben

Aluminiumsfolie – Test 1

Dato	03.04.17
Strømkilde	Strømforsyning med justerbar volt- og amperestyrke, satt til 5 V og 1 mA, og 5 V og 73 mA.
Materiale	To separate strimler med aluminiumsfolie koblet til hver sin strømpole.
Metode	Aluminiumsfoliestrimlene ble senket i en glasskrukke med algevann. Strømforsyning på 5 V og 1 mA gav ikke noe merkbart resultat. Endret så strømforsyningen til 5 V og 73 mA. Lot prosessen stå i 40 min.
Resultat	Strømforsyningen på 5V og 73mA resulterte i en god del bobler i vannet. Etter 10 min begynte det å danne seg et tynt brunt lag med alger på vannoverflaten. Det var ingen vesentlig endring i algelaget etter 40 min.
Vurdering	Forsøk vellykket. Algene fløt til overflaten uten synlig forurensing av vannet.

Aluminiumsfolie – Test 2

Dato	03.04.17
Strømkilde	Strømforsyning med justerbar volt- og amperestyrke, satt 5 V og 73 mA.
Materiale	To separate strimler med aluminiumsfolie koblet til hver sin strømpole.
Metode	Aluminiumsfoliestrimlene ble senket i en glasskrukke med alge vann. I glasskrukken var det plassert en liten magnetrører, innstilt på 400 rpm. Magnetrøreren ble skrudd av etter 10 min.
Resultat	Det var ingen merkbar forskjell fra «aluminiumsfolie test 1» etter 20 min. Strømforsyningen på 5 V og 73 mA resulterte i en god del bobler i vannet. Etter 10 min begynte det å danne seg et tynt brunt lag med alger på vannoverflaten.
Vurdering	Forsøk vellykket. Algene fløt til overflaten uten synlig forurensing av vannet.

Aluminiumsfolie – Test 3

Dato	03.04.17
Strømkilde	Strømforsyning med justerbar volt- og amperestyrke, satt til 5 V og 146 mA.
Materiale	To separate strimler med aluminiumsfolie koblet til hver sin strømpole.
Metode	Aluminiumsfoliestrimlene ble senket i en glasskrukke med alge vann.
Resultat	Dobbel amperestyrke gav mer bobler, men ellers ingen merkbar forskjell fra «aluminiumsfolie test 1», etter hverken 10- eller 20 min Strømforsyningen på 5 V og 73 mA resulterte i en god del bobler i vannet. Etter 10 min begynte det å danne seg et tynt brunt lag med alger på vannoverflaten.
Vurdering	Forsøk vellykket. Algene fløt til overflaten uten synlig forurensing av vannet.

Storskala forsøk

Elektroforese og filtrering

Den første storskala elektroforese- og filtreringstesten ble utført 04.04.17. Algene som fløt opp til overflaten ble samlet inn med små bøtter og filtrert gjennom stablede 18-liters bøtter med påmonterte mikrometerduker.

Dato	04.04.17
Strømstyrke	<p>Strømforsyning med justerbar volt- og amperestyrke. Innstilt styrke: 5,00 V og 3,96 A</p> <p>Faktisk styrke i saltvann: 3,58 V og 3,95 A</p>
Materiale	<p>Aluminiumsplate montert i bunn av 1m³-karet og aluminiumstrimler montert langs siden av karet, hvorpå en er festet i platen i bunn.</p> <p>Sifoneringslange og to stablede 18-liters bøtter med påmonterte filterduker. 125 µm duk i den øverste bøtten, og 20 µm duk i den nederste.</p>
Metode	<p>To slanger ble brukt til å sifonere vann fra 7m³-karet og ned 1m³-karet. Det ble sifonert over en vannstand i underkant av 5 cm, som tilsvarer omtrent 400 liter, eller omtrent halvparten av kapasiteten til 1m³-karet.</p> <p>Elektroforesen sto urørt i 30 min før innsamling.</p> <p>Algene som fløt opp ble forsiktig samlet inn i små bøtter og helt i filteret.</p> <p>Etter filtreringen var unnagjort ble 20 µm duken demontert fra bøtten og algene ble forsiktig skrapet fra filteret og over i en liten boks. Våttvekten ble veid og boksen ble plassert i kjøleskap i biologisalen</p>
Resultat	<p>Filterdukene ble raskt fulle, men tilstopping var ikke et like stort problem som før, så lenge man arbeidet sakte og presist med algesamlingen. Algeinnsamlingen var ferdig på en time, hvor overflatevannet da var så og si fritt for alger.</p> <p>Veiingen viste en våttvekt på 125 g skrapet fra 20 µm duken.</p>
Vurdering	Forsøk vellykket. Prosessen var litt tidskrevende men mye mer effektivt sammenlignet med en ren filtreringsprosess.

Endelig filtreringsmetode

Den endelige metoden, utført 06.04.17, kombinerte elektroforese og mikrometerduker.

Dato	06.04.17
Strømstyrke	<p>Strømforsyning med justerbar volt- og amperestyrke. Innstilt styrke: 5,00 V og 3,95 A</p> <p>Faktisk styrke i saltvann: 3,52 V og 3,94 A</p>
Materiale	<p>Aluminiumsplate montert i bunn av 1m³-karet og aluminiumstrimler montert langs siden av karet, hvorpå en er festet i platen i bunn.</p> <p>Sifoneringslange og to stablede 18-liters bøtter med påmonterte filterduker. 125 µm duk i den øverste bøtten, og 20 µm duk i den nederste.</p>
Metode	<p>To slanger ble brukt til å sifonere vann fra 7m³-karet og ned 1m³-karet. Det ble sifonert over en vannstand på 10 cm, som tilsvarer omtrent 1000 liter, Karet ble nesten helt fullt.</p> <p>Elektroforesen sto urørt i 1 time før innsamling.</p> <p>Algene som fløt opp ble forsiktig samlet inn i små bøtter og helt i filteret.</p> <p>Det ble testet en ny innsamlingsmetode hvor vann fra 50-meters dyp ble innført til å tvinge overrenning av de resterende algene over i den midtre sluken i karet. Vannet rant ned i bøtter, og ble så helt over i filterbøttene.</p> <p>Etter filtreringen var unnagjort ble dukene demontert fra bøttene og algene ble forsiktig skrapet fra filteret og over i en glasskrukke. Våttvekten ble veid og krukken ble plassert i kjøleskap i biologisalen.</p>
Resultat	<p>Ved ordinær innsamling var erfaringen med filterdukene det samme som før, med lite problem med tilstopping. Ordinær algeinnsamling var ferdig på en time. Overrenningsinnsamlingsmetoden produserte så mye ekstra vann at filtreringen tok 3 timer.</p> <p>Veiingen viste en våttvekt på 553,40 g skrapet fra dukene.</p>
Vurdering	Forsøk vellykket. Den ordinære prosessen fungerte godt, mens overrenningsmetoden skapte for mye vann og forlenget filtreringsprosessen.

Logg

Dyrking av mikroalger i 7m³ kar, og påfølgende forsøk på filtreringsmetoder, ved Skjer akvakulturstasjon i Sogndal.

28.februar - 22.april

Dato: 28. februar, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
11.05	Fylte vann fra 100 meters dyp i kar (første 10 cm ufiltrert, resten gjennom 250 mikrometer filter, opp til 1m høyde)
13:15	Tilsatte planteplanktonkonsentrat #1 (filtrert fra sjøvann, 25 mikrometer håv)
13:30	Kar fullt
13:48	Tilsatte planteplanktonkonsentrat #2 (filtrert med identisk prosess som #1)

Værforhold: Morgen: overskyet, vindstille, lite bølger. Secchi skiven målte dybdesikt på 10-11

PH nivå i havet

Dybde	PH nivå	Planteplankton prøve
0 m	7,98	Glass P-1
2 m	7,99	Glass P-2
6 m	7,89	Glass P-3
10 m	7,83	Glass P-4
25 m	7,85	Glass P-5

PH nivå i karet

Type	PH nivå
Tilførselsvann (vann fra 100m dyp)	7,59
Kar før tilsetning av planteplanktonkonsentrat	7,70
Kar etter tilsetning av planteplanktonkonsentrat #1	7,72
Kar etter tilsetning av planteplanktonkonsentrat #2	7,71

Planteplanktonkonsentrat innsamlingsprosess

To bøtter (konsentrat #1 og #2) ble begge fullt med sjøvann for så å bli tilsatt planktonprøver fra havet tatt med en 25 mikrometer håv, og silt gjennom en 250 mikrometer håv.

Følgende prosess for 25 mikrometer håv er identisk i begge bøtter:

Runde	Innsamlingsprosess fra 0-10-meters dyp, gjentatt per algekonsentratbøtte.
1	Senke, og heve 25- μ m filter håv 5 ganger. Filtrering gjennom 250 μ m håv
2	Senke, og heve 25- μ m filter håv 8 ganger. Filtrering gjennom 250 μ m håv
3	Senke, og heve 25- μ m filter håv 5 ganger. Filtrering gjennom 250 μ m håv

Vannprøver

Glass P-6: planteplanktonkonsentrat bøtte #1.

Glass P-7: karet før fylling av planteplanktonkonsentrat #1

Glass P-8: karet etter fylling av planteplanktonkonsentrat #1 og #2

(Glass P-10: filteret til karet (250mikrometerfilter) for veileder sin egeninteresse)

CTD måling	Situasjon	Prosess
1. måling	0-30 m dyp, i hav	Sakte senking, 1 måling annenhver meter (rett?)
2. måling	Kar, før tilsetning av planteplanktonkonsentrat	1 min, 30 målinger, 10 cm dybde 1 min, 30 målinger, bunnen av karet
3. måling	Kar, etter tilsetning av planteplanktonkonsentrat #1	1 min, 30 målinger, 10 cm dybde 1 min, 30 målinger, bunnen av karet
4. måling	Kar, etter tilsetning av planteplanktonkonsentrat #2	1 min, 30 målinger, 10 cm dybde 1 min, 30 målinger, bunnen av karet

Dato: 28. februar – 05. mars, 2017

Målinger tatt av veileder 28.feb til 05.mars

Dato	Kl.	Temp. C	Vannstand i karet (cm)	ph	Algeprøve (vannprøve)
28.feb	18:30	7,5	ca 110		
01.mar	08:15	5,4			
01.mar	18:30	5,2			
02.mar	08:25	4,5	110		
02.mar	18:15	4		7,91	P-11
03.mar	08:20	2			
03.mar	18:30	2,4			
04.mar	08:10	1,1			
04.mar	17:30	3,4	ca 110	7,88	P-12
05.mar	08:50	2,5			
05.mar	17:00	3,2			

Dato: 6. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
15:00-15:55	Målte opp vannstand i kar (fra kant), tok pH måling, fjernet lufttilførsel, tok CTD prøve og vannprøve.
15:55-16:15	Drenering av vann (drenerte ned til 50 cm, målt ved kant). Tilførte samtidig lufttilførsel for å få i gang sirkulasjon, slik at at alger ikke befant seg i bunn under drenering.
16:17-17:25	Fylte vann fra 100 meters dyp i kar (filtrert gjennom 250 mikrometer filter, opp til 1m høyde, målt ved kant)
17.25	Reinsatte lufttilførsel etter fylling av nytt vann.
17:30	Målte temperatur og pH i den nye vannblandingen.
17:47	CTD måling #2
18.00-19.55	Festet to lag med presenning over åpningen på karet. Presenning 1: 3,8x5,7 m ² 90 g/m ² Presenning 2: 5,2x6,9 m ² 120 g/m ²

Værforhold: Ettermiddag: Lite skyer, sol, og en del vind. Varslet minusgrader natt til 07. mars. (-5 °C)

Vannprøve: 15:55, før drenering: Glass P13.

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:07	1,9	7,87	Før vanndrenering
17.30	4,8	7,81	Etter reintroduksjon av sjøvann

Tid	Vannstand i kar (målt fra kant)	Info
15:00	1,10 meter	Før vanndrenering
16:15	0,50 meter	Etter vanndrenering
17:25	1,00 meter	Etter reintroduksjon av nytt sjøvann

Tid	CTD måling
15:30	Feilmåling
15.38	Før vanndrenering 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
17:25	Etter vanndrenering og reintroduksjon av sjøvann fra 100 meters dyp. 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet

Dato: 7. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
09:20 - 09.30	Tok av presenningene og målte temperatur i vannet (rett under overflaten)
16:55 - 17.30	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten) og la over presenningene igjen i påvente en tilsvarende kald natt med minusgrader (muligens et par grader varmere).

Værforhold: Morgen: Skyfritt, sol, litt vind. (-5 °C) | Kveld: Skyfritt, nærmest vindstille (Rundt -5°C)

Tid	Temperatur (Celsius)	Info
09:30	3,0	Nedgang på 1,8 grader etter en natt der temperaturen gikk ned til -5 og mot -8 grader før soloppgang (målt ved Sogndal lufthavn, hentet fra Yr.no)
16:57	3,0	Mangel på varmetap, og forventning om en tilsvarende natt som forrige (eller varmere), gjorde at det ble vurdert som unødvendig med enda et vannskifte, samt at det ville bli tilstrekkelig beskyttelse å dekke karet med tilsvarende mengde presenning som natten før.

Dato: 8. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
09:25 - 09.30	Tok av presenningene og målte temperatur i vannet (rett under overflaten)
16:00	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten), tok PH, og CTD måling
16.21 - 16.32	Drenering av 30 cm med vann, for å bytte ut med varmere sjøvann i påvente av en kald natt med minusgrader.
16.34 - 17.14	Reintroduksjon av sjøvann fra 100 meters dyp (30 cm, opprettholdt vannstand på 1 m målt ved kant)
17:18 - 17:22	Temperatur-, pH- og CTD-målinger
17:30	Tok på presenning.

Værforhold: Morgen: Skyfritt, sol, og nærmest vindstille. | Kveld: Solen gjemt bak skyene, litt vind.

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
09:28	1,2	Ikke målt	Nedgang på 1,8 grader gjennom natten.
16:00	1,4	7,95	Før vanndrenering (30 cm)
17:18	3,0	7,90	Etter reintroduksjon av nytt sjøvann (30 cm)

Tid	CTD måling
16.00	Før vanndrenering (30 cm) 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
17:22	Etter reintroduksjon av nytt, varmere, sjøvann fra 100 meters dyp. (30 cm) 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet

Dato: 9. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
09:20 - 09:30	Tok av presenningene og målte temperatur i vannet (rett under overflaten)
19:15 - 19:30	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten) og tok på presenning

Værforhold:

Morgen: Snø, skyer, lite vind. Tett snøvær med lite lysgjennomtrenging. Solen ikke synlig.

Kveld: Lite vind /vindstille, delvis skydekke.

Tid	Temperatur (Celsius)	Info
09:27	2	Nedgang på 1 grader gjennom natten.
19:20	1,5	Nedgang på 0,5 grader gjennom dagen.

Dato: 10. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
09:30 - 09:35	Tok av presenningene og målte temperatur i vannet (rett under overflaten)
15:20 - 15:35	Tok vannprøve (Glass P-14) og målte CTD, PH og temperatur i vannet (rett under overflaten)
18:51	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). (Tok ikke på presenning)

Værforhold

Morgen: Snø på bakken, skyer, vindstille.

Ettermiddag: Overskyet, lett regn, vindstille.

Kveld: Overskyet, lite vind

Vannprøve: 15:20: Glass P-14.

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
09:34	1,1	Ikke målt	Nedgang på 0,4 grader gjennom natten.
15:27	2,2	7,88	Oppgang på 1,1 grader gjennom dagen
18:51	2,2		Stabilt nivå utpå kvelden. (Koncludert med at det ikke trengs presenning pga værmelding)

Tid	CTD måling
15:32	30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet

Dato: 11. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
9:28	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten).

Værforhold: Morgen: Sol, delvis overskyet, litt vind (omtrent 2m/s)

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
09:28	2,2	Ikke målt	Ingen endring (etter natt uten presenning. Fått sollys siden soloppgang)

Dato: 12. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
15:35 - 15:45	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH og tok vannprøve og CTD

Værforhold: Ettermiddag: Overskyet, lett vind (0-1m/s), noe regn

Vannprøve: 15:38: Glass P-15.

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:39	3		Oppgang på 0,8 grader (forrige måling var forrige morgen, denne var om ettermiddagen)
15:43		7,92	

Tid	CTD måling
15:44	30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet

Dato: 14. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
15:30 - 16:00	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok en vannprøve og en CTD.

Værforhold: Ettermiddag: overskyet, frisk vind

Vannprøve: 15:35: Glass P-16.

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:35	4,1		Oppgang på 1,1 grader.
15:50		7,93	

Tid	CTD måling
15:50	30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet

Dato: 16. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
15:20 - 15:35	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok en vannprøve og en CTD. Målte også vannstand i karet (ved kant) etter noen dager med nedbør.

Værforhold: Ettermiddag: Overskyet, lett vind

Vannstand: 1,07m. Opp ca 70mm. Vannet også synlig mer grumsete. Tyder på økt algekonsentrasjon.

Vannprøve: 15:25: Glass P-17.

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:24	4,8		Oppgang på 0,7 grader.
15:27		8,09	

Tid	CTD måling
15:32	30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet

Dato: 18. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
15:00 - 15:30	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok en vannprøve og en CTD.
	Hentet ut data fra CTD senere på dagen.
16.28	Ny CTD etter at dataene viste at målingene hadde overstiget parameterene. Endret parametere fra 0-7,5 til 0-25 for denne målingen. Parameterene ble så endret til 0-75 for 19. mars.

Værforhold: Ettermiddag: Delvis sol/skyer, litt vind

Vannprøve: 15:06: Glass P-18

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:10	4,8		Ingen endring
15:11		8,09	

Tid	CTD måling
15:20	Feilmåling – Klorofyllnivået hadde oversteget CTD-apparatets parametere. (0-7,5) 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
16:28	Ny måling med nye parametere (0-25). Målingen viste et klorofyllnivå på 18 (ettelleranna). Neste dags parametere blir økt til 0-75. 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet

Dato: 19. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
15:15 - 15:43	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok en vannprøve og to CTD målinger; en måling med og en måling uten presenning for å undersøke om sollyset påvirker sensoren ved 20 cm dybde.
16:28	Ny CTD måling under presenning etter mistanke om feilmåling.

Værforhold: Ettermiddag: Overskyet, tett snøvær, 2 grader

Vannprøve: kl 15:16: Glass P-19

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:20		8,19	
15:22	3,5		Nedgang på 1,3 grader

Tid	CTD måling
15:35	Måling uten presenning (parameter på 0-75) 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
15:43	Måling med presenning (parameter på 0-75) (Mulig feilmåling) 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
	Den økte konsentrasjonen av klorofyll ved 20 cm dybde kan skyldes at dagslyset påvirker klorofyllsensoren. Det ble derfor tatt to sett målinger, med og uten presenning over karet. Om sensoren skulle vise seg å være påvirket av sollyset, vil det tyde på at målingene ved bunnen av karet er mer nøyaktige.
16:28	Måling med presenning (parameter på 0-75). Tok målingen på nytt grunnet mistanke om feilmåling. <u>Målingen viste signifikant høyere verdier.</u> 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet

Dato: 20. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
15:30 - 16:00	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok en vannprøve og to CTD målinger; en måling med og en måling uten presenning for å undersøke om sollyset påvirker sensoren ved 20 cm dybde.
16:30 - 18:05	Målte vannstand (1,10m) ved kanten av karet. Tappet 50 cm vann, etter at CTD målingene viste en kræsje i kulturen, og etterfylte til en vannstand på om lag 1 m (1,03m). Tok så nye temperatur, pH og CTD målinger, samt en vannprøve.

Værforhold: Ettermiddag: Overskyet, litt vind

Vannstand: Før tapping: 1,10 m | Etter etterfylling: 1,03 m

Vannprøve: 15:34: (Før tapping), Glass P-20 | 17:53: (Etter tapping): Glass P-21

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:38	3,5	8,04	Ingen endring i temp.
17:55	5,4	8,97	Temperaturøkning på 1,9 grader etter tapping og etterfylling av nytt vann.

Tid	CTD måling
15:50	Måling uten presenning (parameter på 0-75) 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
15:55	Måling med presenning (parameter på 0-75) 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
	Måling m/presseining viste høyere klorofyll verdier, ca 9 vs ca 5 u/presenning, men også konstaterte også en krasj og et behov for vannbytte for å redde algekulturen.
18:05	Måling uten presenning (parameter på 0-75) 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
	Måling etter vannbytte viste en klorofyllverdi på ca 13. Også konkludert at sollyset kan være mulig feilkilde for klorofyllsensoren. Likevel ingen endring i praksis, da det vil påvirke den visuelle utviklingen i dataene. (Kan utbedres m/neste års gruppe)

Dato: 21. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
15:35 - 15:55	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok en vannprøve og CTD måling.

Værforhold: Ettermiddag: Sol, delvis skyfritt, en del vind

Vannprøve: 15:38: Glass P-22

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:38	5,8		Oppgang på 0,4 grader
15:48		7,96	

Tid	CTD måling
15:53	Måling uten presenning (parameter på 0-75) 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet

Dato: 22. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
15:00 - 17:30	Møte om fase II, planlegging av filtreringssystem, innkjøp av materiell til prototype.
17:45 - 18:00	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok en vannprøve og CTD måling.
18:00 - 19:30	Bygging og testing av småskala prototype til filtrering. To plastkopper adskilt med grillpinner, teip og mikrometerfilter, på 125µm og 20µm Filtrerte 46 liter på 10 min.

Værforhold: Ettermiddag: litt vind, sol, litt skyer | Kveld: en del vind, litt skyer

Vannprøve: 17:45: Glass P-23

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
17:45	4,3		Nedgang på 1,5 grader. Noe senere på dagen
17:53		8,16	

Tid	CTD måling
18:00	30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet

Dato: 23. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
10:20 - 10:30	CTD måling og gjødsling. 1 dose. - 3,16 g (27,5 % SiO ₂) / 1 liter vann - 2,2 g fullgjødsel / 1 liter vann Dose beregna på en forventet vekst på 24 mikrogram / liter vekst / dag
11:20 - 12:00	CTD resultat viste kræsj i kulturen. Byttet ut om lag 10-13 cm med vann. Kostet bunnfallet ut i avløpet. Tok ny CTD måling etter etterfylling.
15:23 - 15:30	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok en vannprøve og CTD måling.

Værforhold: Morgen: Delvis skyfritt. Sol, litt vind

Vannprøve: 15:25 Glass P-24 – etter vannbytte

Tid	Tapping av vann fra karet (ca 13 cm)	Vannstand
11:22	Begynte tapping / sopet bunnfall ut i avløp	1,03 m
11:35	Ferdig tappet	0,90 m
11:37	Begynte etterfylling av sjøvann (fra 100 meters dyp)	
11:50	Ferdig med etterfylling	1,00 m

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:28	4,9		Oppgang på 0,6 grader
15:30		8,27	

Tid	CTD måling
10:23	Før gjødsling og vanntømming 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
11:55	Etter etterfylling av vann 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
15:23	Standard ettermiddagsmåling 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
	15:23. Total kræsj. Klorofyllnivåer under 3!

Dato: 24. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
15:45 - 16:00	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok en vannprøve og CTD måling. Tilsatte gjødsling.
16:26	Velger å gjødsle med 2,2g fullgjødse og 3,16g vannglass, siden klorofyllverdiene er på 16 microgram/liter som kulturen var på før den krasjet sist.

Værforhold Ettermiddag: Noe vind, overskyet, duskregn

Vannprøve: 15:45 Glass P-25

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:47		8,16	
15:53	4,1		Nedgang på 0,8 grader

Tid	CTD måling
15:55	30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet

Dato: 25. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
15:15 - 16:34	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok en vannprøve og CTD måling. Tilsatte gjødsling.
16:34	Gjødsling <ul style="list-style-type: none"> - 1,1 g fullgjødse - 1,58 g vannglass

Værforhold: Ettermiddag: Overskyet, lite vind

Vannprøve: 15:15 Glass P-26

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:20	5,9		Oppgang på 1,8 grader
15:22		8,14	

Tid	CTD måling
15:25	30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet

Dato: 26. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
15:40 - 16:50	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok en vannprøve og CTD måling. Tilsatte gjødsling.
16:47	Gjødsling <ul style="list-style-type: none"> - 2,2g fullgjødsel m/1,1g nitrogen - 4,62g vannglass m/1,25g silisium

Værforhold: Ettermiddag: noe vind, stort sett overskyet, mildt.

Vannprøve: 15:42 Glass P-27

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:43	7,5		Oppgang på 1,6 grader
15:45		8,39	

Tid	CTD måling
15:55	30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet Klorofyllnivå likt som dagen før. Nok gjødsling til å overleve, men ikke nok til å vokse? Torbjørn foreslår full gjødseldose. Begrunnet med at bakterier også bruker næringsalter i vannet

Dato: 27. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
15:14 - 16:53	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok en vannprøve og CTD måling med og uten presenning. Tilsatte gjødsling.
16:53	Gjødsling (full dose, samme som i går) <ul style="list-style-type: none"> - 2,2g fullgjødsel m/1,1g nitrogen - 4,62g vannglass m/1,25g silisium

Værforhold: Ettermiddag: litt skyer, sol, litt vind, mildt

Vannprøve: 15:14 Glass P-28

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:15	9	8,35	Oppgang på 1,5 grader

Tid	CTD måling
15:27	Uten presenning 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
	Målingen uten presenning viste så å si samme klorofyllnivåer som dagen før. Det ble bestemt å ta en ny måling med presenning for å dobbeltsjekke.
16:05	Med presenning 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
	<u>Målingen med presenning viste ingen betydelig forandring i klorofyllnivåer.</u> Konkludert med å prøve å samme gjødslings dose som dagen før, samt at det kan være at en bakteriekultur spiser opp mye av næringene. Om det ikke bedrer seg må det tappes 80 cm med vann og kulturen startes på nytt. Også teori om manglende mikronæring.

Dato: 28. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
09:27 - 09:47	Tok en CTD måling og tilsatte gjødsling.
09:47	Gjødsling (full dose, samme som i går) <ul style="list-style-type: none"> - 2,2g fullgjødsele m/1,1g nitrogen - 4,62g vannglass m/1,25g silisium
15:18 - 15:43	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok vannprøver og CTD måling.
18:20 - 23:45	Tok algeprøve/testfiltrering (18:20). Sifonerte vann fra karet. Resulterte i 5g våtvekt etter 1 time med filtrering. Tok vannbytte etter at CTD viste nedgang i klorofyll sammenlignet med måling tidligere på dagen. Tok ny vannprøve etter vannbytte.
	Endret CTD enhet til sommertid. Differens mellom CTD data tider og loggførte tider skyldes dette. Differensen gjelder målinger fra søndag 19.03.17 til tirsdag 28.03.17.

Værforhold: Morgen: Overskyet, lite vind, mildt.

Vannprøve: 15:18 Glass P-29 – før vannbytte | 23:45 Glass P-30 – etter vannbytte

Tid	Tapping av vann fra karet (ca 80 cm)	Vannstand
18:20	Begynte tapping / sopet bunnfall ut i avløp / testfiltrering/algeprøve	1,00 m
19:55	Ferdig tappet	0,20 m
20:00	Begynte etterfylling av sjøvann (fra 50 meters dyp)	
23:10	Ferdig med etterfylling	1,00 m

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:25	8	8,3	Nedgang på 1 grad

Tid	CTD måling
09:27	Måling #1, tidlig på dagen for å sjekke om gjødslingen i går virket. 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
	Klorofyllnivåene doblet sammenlignet med gårsdagens målinger. Ser ut som gjødslingen begynner å virke.
15:20 - 15:30	To CTD målinger i fjorden.
15:43	Målingen #2, for å følge utviklingen i løpet av dagen. 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
	Liten nedgang i klorofyllnivå siden Måling #1. Tar vannbytte og testfiltrering.
23:22	Måling #3, etter vannbytte.

Dato: 29. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
09:14 - 09:28	Tok CTD måling.
15:36 - 15:52	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok vannprøver og CTD måling.

Værforhold: Morgen: Sol, lite vind, lite skyer

Vannprøve: 15:36: Glass P-31

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:39	8,4		Oppgang på 0,4 grader
15:44		7,98	

Tid	CTD måling
09:14	Feilstart – glemte å ta ut diffusor 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
09:28	Måling #1 – morgen – 5-7 mikrogram/liter klorofyll 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
15:52	Måling #2 – ettermiddag – under 2 i klorofyll(!) 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
	Vil forhåpentligvis nå 8 i klorofyll om 2 dager. Begynne å gjødsle igjen da. Kanskje i morgen.

Dato: 30. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
15:30 - 17:30	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok vannprøver og CTD måling. Gjødslet med halv dose.
	Gjødsling (halv dose, for å være føre var) <ul style="list-style-type: none"> - 1,2g fullgjødsel - 2,31g vannglass

Værforhold: Ettermiddag: Lett sludd, skyer, litt vind. Litt snø på bakken

Vannprøve: 16:07: Glass P-32

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:30	4,9	8,05	Nedgang på 2,7 grader etter en kalder natt og dag med litt snø og sludd.

Tid	CTD måling
15:43	30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
	Måling viste klorofyllnivåer rundt 6. Ble bestemt å gjødsle med halv dose for å være føre var.

Dato: 31. mars, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
15:15 - 17:30	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok vannprøve og CTD måling. Tok en småskala test av elektrolysefiltrering. Gjødset med dobbel dose.
15:35	Småskala test av Elektrolysefiltrering, med 12V 9A Mopedbatteri og «rustfri» ståltråd. Testen var mislykket. Ståltråd som skulle være «rustfri», oksiderte og forurenset vannprøven.
17:30	Gjødsling (dobbel dose, for å se om det gjør noe utslag, ettersom den halve dosen fra dagen før ikke førte til noen vesentlig endring i kulturen.) <ul style="list-style-type: none"> - 4,40g fullgjødset - 9,24g vannglass Teori om mulig jernmangel. Plan om å skifte til Superba, ved neste gjødsling, da det inneholder mer jern, men ellers har svært like verdier.
18:20	CTD måling av testbøtter med prøver fra kulturen, for å undersøke forskjell mellom fullgjødset og Superba. <ul style="list-style-type: none"> - Bøtte #1 gjødset med 0,5g fullgjødset og 1,2g vannglass - Bøtte #2 gjødset med 0,5g Superba og 1,2g vannglass (Hver bøtte med egen serie på CTD filen) Resultat måles neste dag,

Værforhold: Ettermiddag: Regn, overskyet, lite vind

Vannprøve: 15:15: Glass P-33

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:20	5,1	8,30	Oppgang på 0,2 grader

Tid	CTD måling
15:38	CTD måling fra karet. 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
18:20	CTD målinger fra testbøttene. Bøtte #1 inneholder fullgjødset, mens Bøtte #2 inneholder Superba.

Dato: 1. april, 2017

Tidskjema for 7m³ kar

Tid	Info
15:20 - 17:10	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok vannprøve og CTD målinger av kar og bøtteprøver. Tok to småskala tester av elektrolysefiltrering. Gjødslert med firedobbel dose der 50 % er superba og 50 % er fullgjødssel.
15:40 - 17:10	Elektrolysetest i liten boks og en middels stor hvit Gilde fiskeboks. - Liten boks: 15:40-16:00 Gilde boks: 16:10-17:10 12V 9A Mopedbatteri koblet til «rustfri» ståltråd, koblet til karbon/grafitt biter senket i vannet. I begge tilfeller samlet det seg et tynt hvitt lag i toppen av vannet, men med ingen vesentlig forskjell mellom de to eksperimentene. Ingen synlig konsentrasjon av alger.
16:50	Gjødsling. Firedobbel dose med 50/50 superba og fullgjødssel, for å se om det gjør noe utslag, ettersom den doble dosen med fullgjødssel fra dagen før førte til en dobling av klorofyllverdiene i kulturen. - 4,40g fullgjødssel + 4,40g superba /1 liter vann - 18,48g vannglass /4 liter vann (5g/1L + 5g/1L + 5g/1L + 3,48g/1L) Testing av teori om mulig jernmangel. Superba inneholder mer jern, men har ellers svært like verdier. Forhåpentligvis vil det gi utslag ved neste dags måling.

Værforhold: Ettermiddag: Overskyet, en del vind, mildt

Vannprøve: 15:20: Glass P-34

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:20	6,5	8,06	Oppgang på 1,4 grader

Tid	CTD måling
15:27	Måling #1: Karet. 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet Klorofyllnivå rundt 11. Dobbling fra dagen før.
15:30 - 15:32	Måling #2: Bøtte med Superba. Måling #3: Bøtte med fullgjødssel. Resultat fra gårsdagens bøttetest. Høyere snitt klorofyll i fullgjødselbøtten, men høyere turbiditet i superbabøtten. Bunnfall i begge. Kanskje mer oppvirvling av bunnfall i superbabøtten?
16:25 (ca)	Måling #4: Bøtte med fullgjødssel. Måling #5: Bøtte med superba. Rørte rundt i begge bøttene før ny måling. Superbabøtten hadde klorofyllnivå på rundt 12 og turbiditet på rundt 8. Fullgjødselbøtten hadde klorofyllnivå på rundt 8 og turbiditet på rundt 8.

Dato: 2. april, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar						
15:00 - 17:40	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok vannprøve og CTD målinger av kar og bølgeprøver. Tok småskala test med ammoniakk, for å se påvirkningen den har på PH. Tok flere småskala tester av elektrolyse. Gjødslet med firedobbel dose der 50 % er superba og 50 % er fullgjødsel.						
15:15	<u>Ammoniakktest.</u> Salmiakflaske med 8 % ammoniakk, PH 12. Test i Gilde kasse m/vann fra karet. Gikk fort tom for ammoniakk ettersom det ikke var mye igjen i flasken til å begynne med. <table border="1"> <tr> <td></td> <td>Før tilsetning</td> <td>Etter gradvis tilsetning</td> </tr> <tr> <td>PH</td> <td>8,15</td> <td>10,24</td> </tr> </table>		Før tilsetning	Etter gradvis tilsetning	PH	8,15	10,24
	Før tilsetning	Etter gradvis tilsetning					
PH	8,15	10,24					
15:45 - 17:22	<u>Elektrolysetester</u> 12V 9A Mopedbatteri koblet til «rustfri» ståltråd, koblet til forskjellige materialer, senket i vannprøver fra karet. (Tatt prøve av «Test 5» for mulig analyse, om tid.)						
17:40	<u>Gjødsling.</u> Firedobbel dose med 50/50 superba og fullgjødsel. Samme dose som i går, ettersom det er beregnet til å være nok for å doble en klorofyllkonsentrasjon på 22. <ul style="list-style-type: none"> - 4,40g fullgjødsel + 4,40g superba /1 liter vann - 18,48g vannglass /4 liter vann (5g/1L + 5g/1L + 5g/1L + 3,48g/1L) Videre testing av teori om mulig jernmangel. Superba inneholder mer jern, men har ellers svært like verdier. Forhåpentligvis vil det gi like bra utslag ved neste dags måling.						

Værforhold: Ettermiddag: overskyet, litt vind.**Vannprøve:** 15:15 Glass P-35

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:03	7,4	8,5	Oppgang på 0,9 grader

Tid	CTD måling
15:00	Måling #1: Bøtte med Superba Måling #2: Bøtte med fullgjødsel
15:28	Måling i karet. 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
	Målingen i karet viste en klorofyllverdi på rundt 22. En dobling fra dagen før, og noe av det høyeste målt så langt. Dette styrker teorien om jernmangel i vannet. Doser med 50/50 superba og fullgjødsel virker som en lovende kombinasjon.

Test	Elektrolysetest materiale	Resultat
1	Stålull, i liten boks	Resulterte i tykt grønt belegg på overflaten.
2	Stålull, i liten boks. Kontrolltest m/filtrert vann fra karet.	Veldig lik konsentrasjon av det grønne belegget. Noe mer brunt i tillegg. (Ikke god nok filtrering?)
3	Karbon biter, i glassbeger	Noe av karbonbiten begynte å smelte. Mulig plast. Test avbrutt.
4	Rustfri stålskei, i glassbeger	Mislykket. Skeibiten tilkoblet plussiden oksiderte med en gang.
5	Stålull, i glassbeger. Adskilt ved skillevegg av tjukk teip.	Stålullen gikk i oppløsning. Mye bunnfall. Klart skille mellom grønn væske på det oppløsende positivt ladde siden og en mer brun og klarere væske på den negative siden. Tok prøve, som kan analyseres av veileder.

Dato: 3. april, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
15:50 - 18:50	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok vannprøve og CTD målinger av kar og bøtteprøver. Tok flere småskala tester av elektrolyse. Gjødset med firedobbel dose der 50 % er superba og 50 % er fullgjødset.
16:15 - 18:30	<u>Elektrolysetester</u> Strømforsyning med Volt/Ampere måler koblet til aluminiumsfolie, senket i vannprøver fra karet.
18:45 - 18:50	<u>Gjødsling.</u> Firedobbel dose med 50/50 superba og fullgjødset. Samme dose som i går, ettersom det er beregnet til å være nok for å doble en klorofyllkonsentrasjon på 32. <ul style="list-style-type: none"> - 4,40g fullgjødset + 4,40g superba /1 liter vann - 18,48g vannglass /4 liter vann (5g/1L + 5g/1L + 5g/1L + 3,48g/1L)

Værforhold: Ettermiddag: delvis skyfritt, sol, mildt, litt vind.

Vannprøve: 15:52 Glass P-36

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:50	9,0	8,35	Oppgang på 1,6 grader.

Tid	CTD måling
16:00	Måling i karet/tanken – Viste et klorofyllnivå på rundt 30 (25 på topp og 32 på bunn) 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
16:05	Måling av bøtter. #1; Superbabøtte, #2: Feilmåling #3: Fullgjødsetsbøtte. Kulturen i Superbabøtten lå på ca 36, mens den hadde kræsjet i fullgjødsetsbøtten, med et klorofyllnivå på rundt 5.

Elektrolysetester

Glassbeger med en overflate på rundt 122 cm². tar man høyde for en Ampere på 0,6-3mA /cm² tilsa dette at det burde brukes en Ampere på 73-366mA Noe mer enn dette føre til produksjon av klor.

Aluminium kobles til hver sin positive og negative ladning, med den negativt ladde biten på bunn, da den vil danne hydrogen bobler som gjør at algene flyter oppover. Mer ampere gir mer bobler, og da teoretisk en raskere prosess.

Test	Elektrolyse materiale	Info
1	Aluminium, i glassbeger	(Prøvde først 5V og 1mA. Gav ikke merkbart resultat) 5V og 73mA. (Pga motstand i saltvann er det i realiteten 1,2V og 73mA) Etter 10 min begynte det å danne seg et tynt brunt belegg på vannoverflaten. Bilder tatt ved 10-, 20- og 40 min.
2	Aluminium, i glassbeger	5V og 73mA. (Pga motstand i saltvann er det i realiteten 1,2V og 73mA) Magnetrorer med en 400 rpm. Magnetrorer skrudd av etter 10 min. Ingen merkbare forskjell fra «Test 1» etter 20 min.
3	Aluminium, i glassbeger	5V og 146mA. (Pga motstand i saltvann er det i realiteten 1,2V og 146mA). Dobbel styrke på Ampere gav mer bobler, men ellers ingen merkbare forskjell fra «Test 1» etter 10- og 20 min.

Dato: 4. april, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
09:00-11:00	Fikk aluminiumsplate- og strimler hos Daco Mekaniske AS i Kaupanger. (60 cm x 55 cm plate, omtrent 3 mm tykk, samt en del strimler/skrap) Satt opp fullskala 1m ³ elektrolyse kar for filtrering av alger sifonert fra 7m ³ karet
15:13 - 19:05	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok vannprøve og CTD målinger av kar og bølgeprøver. Tok fullskala test av elektrolyse, som da inkluderte ett vannbytte på 5 cm (ca 400 liter). Samlet inn overflatelagene, veide våtvekten og lagret prøven i kjøleskap sammen med vannprøvene. Endelig våtvekt var på 125 gram. Gjødslet med firedobbel dose der 50 % er superba og 50 % er fullgjødsel. Gjødslet senere igjen med ekstra dose superba og vannglass for å være føre var.
16:04 - 18:48	<u>Elektrolysetest, i fullskala 1m³ kar</u> Strømforsyning med Volt/Ampere måler koblet til aluminiumstrimler og en aluminiumsplate, senket i et 1m ³ stort kar. Karet var i denne omgang halvfullt, med rundt 400 liter vann fra hovedkaret.
18:40	<u>Gjødsling.</u> Firedobbel dose med 50/50 superba og fullgjødsel. Samme dose som i går, ettersom det er beregnet til å være nok for å doble en klorofyllkonsentrasjon på 53. - 4,40g fullgjødsel + 4,40g superba /1 liter vann - 18,48g vannglass /4 liter vann (5g/1L + 5g/1L + 5g/1L + 3,48g/1L)
19:05	<u>Ekstra gjødsling</u> - 4,40g superba (2 doser) - 27,72g vannglass (6 doser) Ekstra gjødsling med superba da det er litt tvil om virkningen til vanlig fullgjødsel ved denne klorofyllkonsentrasjonen. Gjødsler ekstra for å være føre var, og unngå krasj. Testbøttene har også vist at overgjødsling med superba ikke ser ut til å være et problem.

Værforhold: Morgen: Delvis skyfritt, litt sollys, litt vind | Ettermiddag: Skyer, regn, en del vind.

Vannprøve: 15:13 Glass P-37 | 18:50 Glass P-38 (etter elektrolyse og vannfylling på omlag 5 cm)

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:18		8,53	
15:25	8,2		Nedgang på 0,8 grader.

Tid	CTD måling
15:05	<u>Måling i testbøtter.</u> Måling #1 er superbabøtten Måling #2 er fullgjødselsbøtten Superbabøtten hadde klorofyllnivå på over 75 (sprengt skalaen til CTD måleren) Fullgjødselsbøtten hadde klorofyllnivå på 5. (krasj)
15:25	<u>Måling i kar (før tapping pga elektrolyse og påfølgende vanntilførsel)</u> 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet Klorofyllnivå på rundt 53. (Neste dags måling vill med all sannsynligvis overstige parameterene på 0-75)
18:53	<u>Måling i kar (etter elektrolyse og påfølgende vanntilførsel)</u> 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet

Elektrolysetest, i fullskala 1m³ kar

Strømforsyning kobles til aluminiumstrimler, som igjen er koblet til en aluminiumsplate senket i et 1m³ stort kar. Aluminiumstrimlene kobles til hver sin positive og negative ladning fra strømforsyningen, hvor den negativt ladde strimmelen er festet til platen på bunn, da den vil danne hydrogenbobler som gjør at algene flyter oppover.

Tid	Info
16:04	Start av sifonering fra 7m ³ kar Vannstand i 7m ³ kar: 1,005m
16:11	Ferdig sifonering (overført ca 400 liter) Vannstand i 7m ³ kar: 0,95m
16:15	Innstilt strømforsyningsstyrke: 5V og 3,96A Faktisk strømforsyningsstyrke: 3,58V og 3,95A Faktisk strømforsyningsstyrke er noe lavere på grunn av motstanden i saltvann.
16:16	Start av elektrolysefiltrering i 1m ³ kar Lot prosessen gå i 30 min, som er anbefalt tid.
16:46	Begynte å samle inn mikroalger m/strømforsyning fremdeles påslått. (vanlig å slå av og la det stå i 15 min) Faktisk strømforsyningsstyrke: 3,23V og 3,95A Valgte å la strømforsyning bli værende påslått under innsamling for å se om det kom mer enn ventet i etterkant. Strømforsyningsstyrken sank underveis.
17:08	Ferdig med innsamling av alger. Koblet fra strømforsyning. 30 min senere (17:40) var det ikke særlig mer resultat i 1m ³ karet, etter å ha latt det stå i ro.
18:30	Målte våtvekt av algene fra testen: Ca 125g Algene ble skrapet fra filteret, veid og plassert i kjøleskap i biologisalen, med vannprøvene.
18:48	Tilførsel av nytt vann til 7m ³ karet. (Vann fra 50m dyp pga mangel på tilgang til vann fra 100m dyp) Vannstand i kar: 1,00m etter fylling.

Dato: 5. april, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
15:11 - 16:30	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok vannprøve og CTD målinger av kar og bøtteprøver. Gjødset med åttedobbel dose med kun superba og vannglass, etter at CTD målingen viste ingen oppgang i klorofyllnivåer fra dagen før.
16:28	<u>Gjødsling.</u> Åttedobbel dose med superba - 17,60g superba /1 liter vann 36,96g vannglass /8 liter vann.
19:55 - 20:10	Ekstra CTD målinger for å følge klorofyllnivåoppgangen på kvelden. Målingen overskred CTD apparatets parametere (over 75!). Måling i bøtte med 8 liter vann fra karet blandet med 8 liter vann fra 50 meters dyp. Klorofyllnivå regnet ut til å være omtrent 85.
20:50	<u>Ekstra gjødsling.</u> Firedobbel dose med superba - 8,80g superba /1 liter vann 18,48g vannglass /4 liter vann. Ekstra gjødsling for å prøve å sikre nok næring til å overstige et klorofyllnivå på 100 til neste dags måling og filtreringer.

Værforhold: Ettermiddag: Nesten skyfritt, sol, litt vind, mildt. | Kveld: Nesten skyfritt, lite vind.

Vannprøve: 15:11 Glass P-39

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:23	7,3	8,53	Nedgang på 0,9 grader.

Tid	CTD måling
15:32	Måling i karet. 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet Resultatet viser klorofyllnivå på rundt 53. Dermed «ingen» endring fra dagen før. Venter med filtrering til neste dag.
16:30	Måling i Superba bøtten. Fremdeles klorofyllnivå over skalaen (over 75).
19:55	Måling i karet for å se hvordan klorofyllnivået vokser iløpet av kvelden. 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet Klorofyllnivået over skalaen/parameteren til CTD måleren. (Over 75!)
20:10	Måling med 8 liter vann fra karet blandet med 8 liter vann fra 50 meters dyp. Måling tatt i bøtte. 30 sek. Klorofyllnivå regnet ut til å være omtrent 85.

Dato: 6. april, 2017

Tid	Tidskjema for 7m ³ kar
15:25 - 15:44	Målte temperatur i vannet (rett under overflaten). Målte PH. Tok vannprøve og CTD målinger av kar
16:00 - 21:32	<u>Elektrolyse, i fullskala 1m³ kar – Endelig filtreringsmetode</u> Strømforsyning med Volt/Ampere måler koblet til aluminiumstrimler og en aluminiumsplate, senket i et 1m ³ stort kar. Karet var i denne omgang fullt med rundt 1000 liter vann fra hovedkaret. Samlet inn overflatelagene, veide våtvekten og lagret prøven i frys.
16:35 - 17:06	Test med stack-filter for å undersøke filtreringshastigheten.
17:30	Slusen/vannlåsen på 7m ³ karet løsnet og datt av. Vannstand sank til 8 cm.
18:36 - 22:55	Etterfylling av 7m ³ karet. (Vann fra 50m dyp pga mangel på tilgang til vann fra 100m dyp) Vannstand fra 8 cm til 1 m.
18:47 - 19:50	Vannprøve, samt CTD- og PH-målinger i 1m ³ karet etter elektrolysefiltreringen Vannprøve av bunnen av filtreringsbøtten (etter 20-mikrometerduken)

Værforhold: Ettermiddag: Overskyet, litt vind, regn | Kveld: Overskyet, nærmest vindstille, lite regn.

Vannprøve:

16:27: Glass P-40 - 7m³ kar

18:47: Glass P-41 - 1m³ kar etter elektrolyse

19:50: Glass P-42 – Algevann fra elektrolysen filtrert gjennom 20 mikrometer filter (bunnen av bøtta)

Tid	Temperatur (Celsius)	PH	Info
15:25	6,2	8,42	Nedgang på 1,1 grader (7m ³ kar)
18:49		8,40	PH av 1m ³ kar etter elektrolysefiltreringen

Tid	CTD måling
15:42	Bøtte med 50/50 sjøvann fra 50-m dyp og vann fra 7m ³ karet. (8 L + 8 L). 30 sek.
15:44	Måling i 7m ³ kar. 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
	Klorofyllnivået rundt 80. Nødvendig med ny måling senere på dagen, da klorofyllnivået vil stige over 100 et par timer senere.
	Ny måling ikke tatt ettersom slusen på karet datt av 17:30. Kar tømt ned til 8 cm.
18:55	Feilmåling i 1m ³ kar. CTD avbrutt 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet
19:16	Måling i 1m ³ kar etter elektrolyse. 30 sek, 15 målinger, 20 cm dybde 30 sek, 15 målinger, bunnen av karet Klorofyllnivå på 11. (Ergo fra 80-100 før elektrolyse til rundt 11 etter elektrolyse.)

Elektrolyse, i fullskala 1m³ kar

Strømforsyning kobles til aluminiumstrimler, som igjen er koblet til en aluminiumsplate senket i et 1m³ stort kar. Aluminiumstrimlene kobles til hver sin positive og negative ladning fra strømforsyningen, hvor den negativt ladde strimmelen er festet til platen på bunn, da den vil danne hydrogenbobler som gjør at algene flyter oppover.

Algene samles ved å senke bøtter rett under vannoverflaten og øse over i større 18-liters bøtter med 125 mikrometers- og 20 mikrometers-filterduker.

Ble også i etterkant utført en test der algene først sendes gjennom sluket ved overflaten etter en heving av vannstanden med vann fra 50 meters dyp. Ved perfekt vannstand sendes algene ned i en bøtte. Denne væsken filtreres gjennom filterdukene i de andre bøttene. Dette er muligens en raskere måte å samle inn overflatelagene på.

Tid	Info	
16:00	Start av sifonering fra 7m ³ kar	Vannstand i 7m ³ kar: 1,00m
16:15	Ferdig sifonering (overført ca 1000 l.)	Vannstand i 7m ³ kar: ikke målt t (ca 0,90m)
16:27	Innstilt strømforsyningsstyrke: 5V og 3,95A Faktisk strømforsyningsstyrke: 3,52V og 3,94A	Faktisk strømforsyningsstyrke er noe lavere på grunn av motstanden i saltvann.
16:27	Start av elektrolysefiltrering i 1m ³ kar	Lot prosessen gå i 1 time før innsamling.
17:27	Begynte å samle inn mikroalger m/strømforsyning fremdeles påslått. (vanlig å slå av og la det stå i 15 min) Faktisk strømforsyningsstyrke: 3,23V og 3,95A	Valgte å la strømforsyning bli værende påslått under innsamling for å se om det kom mer enn ventet i etterkant. Strømforsyningsstyrken sank underveis.
17:33	Skru av strømforsyning/elektrolyse midlertidig	Slusen på karet 7m ³ karet røk. Vannstand sank til 8 cm. Elektrolyse avbrutt midlertidig.
17:52	Strømforsyning/Elektrolyse skrudd på igjen.	Strømforsyning skrudd på igjen etter rundt 10 min med algeinnsamling.
18:00	Endret strømforsyningsstyrke Innstilt strømforsyningsstyrke 5V og 4,5A Faktisk strømforsyningsstyrke 3,3V og 4,49A	Endret styrken for å se om prosessen gikk raskere. Ingen særlig merkbar forskjell. Faktisk strømforsyningsstyrke er noe lavere på grunn av motstanden i saltvann.
18:30	Ferdig med innsamling av alger. Koblet fra strømforsyning/elektrolyse	Ferdig med tradisjonell innsamlingsmetode. (Øsing fra vannoverflate over til filterbøtte)
18:36 - 22:55	Tilførsel av nytt vann til 7m ³ karet. (Vann fra 50m dyp pga mangel på tilgang til vann fra 100m dyp)	Vannstand i kar: 0,08m før fylling. Vannstand i kar: 1,00m etter fylling.
18:47 - 19:16	Vannprøve, pH og CTD av 1m ³ kar etter elektrolysefiltrering.	Glass P-41, PH 8,40 og klorofyllnivå på rundt 11.
18:58	Startet elektrolyse igjen på grunn av synkende alger. Faktisk strømforsyningsstyrke: 3,23V og 3,95A	Plan om en test av ekstra, muligens mer effektiv, filtreringsmetode.
19:30 - 19:34	Test av ekstra filtreringsmetode. Filtrere alger gjennom sluken i toppen av 1m ³ karet. Skrudde av strøm etter filtrering. Muligens en mer effektiv filtreringsmetode.	Vannstanden hevet ved å tilføre vann fra 50m dyp. Ved perfekt vannstand vil algene som flyter opp gå inn i sluket. Algene blir så samlet i to 18-liters bøtter, for så å filtreres gjennom en 20 mikrometer duk over rundt 3 timer.
21:32	Målte våtvekt av algene: 553,40g	Algene ble skrappt fra filteret, satt i glassbeger, veid og plassert i frys.

Resultat: Glassbeger med ferdig filtrerte alger fra elektrolysen

Tid	Info	Vekt
18:30	Uten innhold, før elektrolyse og filtrering	848,45g
21:32	Med innhold, etter elektrolyse og filtrering	1401,85g
Sum	Våtvekt av alger, etter elektrolyse og filtrering	553,40g

Test med stack-filter

Test med stack-filter for å undersøke filtreringshastigheten. Algevann fra 7m³ karet samlet i en 18-liters bøtte, sifonert ned i stack-filteret. Stack-filteret slipper så ut vannet i en 18-liters bøtte med 20-mikrometersduk.

Før test	Vekt
125 mikrometer filter, topplate	272,73g
63 mikrometer filter, mellomplate	259,98g
Bunnplate der den filtrerte væskem renner ut.	521,30g
18 liters bøtte med 20-mikrometer filter	561,30g

Tid	Info	Vannstand i 18-liters bøtte
16:35	Startet filtrering	18 liter
17:06	Stoppet filtrering	4 liter

Sum filtreringsmengde	14 liter
Filtreringshastighet	2,93 liter per minutt

Etter test	Vekt
125 mikrometer filter, topplate	277,18g
63 mikrometer filter, mellomplate	280,98g
Bunnplate der den filtrerte væskem renner ut.	Ikke målt
18 liters bøtte med 20-mikrometer filter	570,26g

Dato: 08. april – 22. april, 2017

Veileder tok over den avsluttende delen av prosjektet gjennom påskeferien 2017.

8. april ble karet tømt ned til 5 cm og etterfylt til 100 cm, for å holde liv i algene om det skulle være behov for videre oppbygging av kulturen. Klorofyll falt fra 14,89 til 4,76 ug chla etter vannbytte.

Det ble foretatt CTD måling hver dag, uten gjødsling, med treg vekst.

Veksten kulminerte 10-11 april på ca 6-7 ug chla, på grunn av lite næringsalter i 50-meters vann.

Klorofyllverdiene sank så sakte ned til 0,09 ug chla, og en endelig krasj, 22. april.

Eksperimentet ble da avviklet.