

Algencultuur op drainwater uit de glastuinbouw

Naar een pilot algenteelt voor de glastuinbouw

Dit rapport is in opdracht van Stichting Innovatie Glastuinbouw Nederland (SIGN)
en InnovatieNetwerk opgesteld door:
Stichting H2Organic en Imares

Projectbegeleiding SIGN/InnovatieNetwerk:
P.T. Oei

Dit rapport is opgesteld in het kader van het thema 'Duurzaam Ondernemen',
concept 'Algen en Oesters', en het speerpunt 'Nieuwe producten en diensten' van het
Programma Glastuinbouw 2020.



Postbus 19197
3501 DD Utrecht
tel.: 070 378 56 53
www.innovatienetwerk.org

Het ministerie van LNV nam het initiatief tot
en financiert InnovatieNetwerk.



Postbus 51
2665 ZH Bleiswijk
tel.: 010 8008400
www.innovatieglastuinbouw.nl
SIGN is een initiatief van LTO
Glaskracht Nederland.

Met medefinanciering van: **Productschap**  **Tuinbouw**  **Rabobank**

ISBN: 978 – 90 – 5059 – 401 – 1

Overname van tekstdelen is toegestaan, mits met bronvermelding.

Rapportnr. 09.2.219, Utrecht, september 2009.

Voorwoord

Hoewel we al duizenden jaren planten kweken, worden algen pas enkele tientallen jaren gekweekt. Er zijn duizenden soorten algen die tal van interessante inhoudsstoffen bevatten. Na extractie van de waardevolle stoffen kan het restant van de biomassa bijdragen aan duurzame energie, maar onder Nederlandse omstandigheden (lichtarme winters) is het niet reëel te verwachten dat algen uitsluitend als biofuel rendabel te kweken zijn.

Voor de glastuinbouw kunnen algen een bijdrage leveren aan emissieloze kassen. Het drainwater bevat meststoffen en residuen die de kwaliteit van het oppervlaktewater kunnen aantasten. Algen hebben meststoffen nodig om te groeien. En passant ruimen ze daarmee juist de verontreiniging in het drainwater op.

Stichting H2Organic heeft diverse proeven uitgevoerd en heeft onderliggend rapport opgeleverd om te komen tot een algenteelpilot voor de glastuinbouw. In eerste instantie was de insteek om de geproduceerde algen als voer te laten dienen voor oesters, zodat de glastuinbouw een extra markt opent. Daarvoor heeft Imares laboratorium onderzoek gedaan naar de geschiktheid van drainwater voor algen, die als voer voor oesters kunnen dienen. Vervolgens is ook breder gekeken naar de mogelijkheden om water te zuiveren met algen.

Deze publicatie geeft een inventarisatie van de marktmogelijkheden en technieken voor algen, de opzet van een pilot en de organisatie van afzet. De ideeën uit dit rapport zijn gebruikt voor twee projecten: 'Bonamiavrije oesterteelt' en 'Raak, het zilt verzilveren'. Met partijen als Ingrepro, de Hogeschool Zeeland en Vette & Verhaart BV is stichting H2Organic nu aan de slag om algenteelt in te zetten voor het schoner maken van de glastuinbouw en de teelt van oesters. We hopen dat de in dit rapport verzamelde kennis meer partijen stimuleert om met algen in de glastuinbouw aan de slag te gaan.

Dr. G. Vos,
Directeur InnovatieNetwerk

N. van Ruiten,
Voorzitter Stichting Innovatie
Glastuinbouw Nederland

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting 1

1. Inleiding 3

2. Tuinbouw, afvalwater en algen 5

- 2.1 De opdracht 5
- 2.2 Uitgangspunten 6

3. Doelstelling pilot 9

4. Organisatie 11

5. Uitwerking van de voorgestelde aanpak 13

- 5.1 Zuiverend vermogen algenteelt 13
- 5.2 Voorbereiden grootschalige productie en verkoop van algen 13
- 5.3 Teelt en afzet 14
- 5.4 Bundelen, verwerking en marketing 14
- 5.5 De productiewaarde van drainwater 14
- 5.6 Samenwerken met lopende projecten en initiatieven elders 15

6. Opzet en inrichting algenpilot 17

7. Financiering en kosten voor een tweejarige pilot 21

8. Taakverdeling 25

9. Juridische vorm 27

- 9.1 Opzet algenbedrijf tot coöperatie 27
- 9.2 Algencoöperatie als eindvorm 28

Bijlage 1: Technische waarnemingen uit de huidige praktijk	31
Bijlage 2: Technische mogelijkheden van drainwater ten behoeve van algenteelt	47
Bijlage 3: Drainage Sustainable Profit Fase 2: laboratoriumexperimenten betreffende de benutting van drainwater voor het kweken van algen voor oesterteelt	51
Summary	93

Samenvatting

De belangstelling van het agrarisch bedrijfsleven voor de algenteelt groeit snel. Akkerbouwers, veehouders en glastuinders tonen interesse. Dit rapport bevat een uitwerking voor een praktijkproef op pilotschaal, en drie bijlagen.

De praktijkproef van twee jaar gaat circa 1 miljoen euro kosten en levert kennis uit de praktijk op om afvalwater uit de glastuinbouw te zuiveren middels algen. Een samenwerkingsverband tussen tal van kleine algenteelers in een afzetcoöperatie moet tot een betere marktpositie kunnen leiden.

Bijlage 1 geeft een beschrijving van verschillende algensystemen en de verschillende types algen die op dit moment te kweken zijn. *Chlorella* en *Arthrospira* zijn de meest in aanmerking komende soorten om op drainwater uit de glastuinbouw te kweken. De meest economische keuze lijkt een hybride kwekerij te zijn met een fotobioreactor voor startermateriaal en overdekte raceways voor de massaproductie.

Bijlage 2 geeft specifieke mogelijkheden weer van de combinatie glastuinbouw en algenteelt, waaronder de verhoudingen in oppervlakte van algenteelt en glastuinbouw.

Bijlage 3 geeft de gedetailleerde onderzoeksresultaten weer van onderzoek van Imares naar algen op drainwater specifiek voor de oesterteelt.

1. Inleiding

Algenteelt is de laatste twee jaar sterk in de belangstelling gekomen. Artikelen in dag- en weekbladen getuigen hiervan.

'KLM/AirFrance gaat vliegen op algenkerosine' en *'Shell start algenteelt op Hawaii'* zijn de meest sprekende voorbeelden. Onze conclusie is dat dit momenteel nog enkele stappen te ver lijkt. Toch zijn algen interessant: zij bevatten veel vitamines, bijzondere koolhydraten en vetten. Algen worden nu al vanwege deze inhoud in de voeding van mens en dier gebruikt. Het uitbreiden van deze markt biedt mogelijkheden.

De belangstelling van het agrarisch bedrijfsleven voor de algenteelt groeit snel. Akkerbouwers, veehouders en glastuinders tonen belangstelling. Past algenteelt in hun bedrijfsvoering? Ditzelfde gebeurde al eerder bij de combinatie visteelt en andere agrarische productievormen. Op de algencongressen in 2008 werd uitgebreid kennis uitgewisseld.

Twee ingrijpende trends spelen hier een rol:

1. Door de stijgende olieprijs komen alternatieve energiebronnen tot ontwikkeling. Algen zijn mogelijke energiedragers. Aanvankelijk door het oliehoudend gehalte van algen, maar recentelijk ook door de productie van waterstof via het algconcept.
2. De afnemende rendementen in de glastuinbouw en de eisen die de Europese kaderrichtlijn water stelt, maken emissievrij telen nog interessanter.

Onderdeel van deze ontwikkeling is de opdracht die SIGN/InnovatieNetwerk in de zomer van 2008 aan Stichting H2Organic heeft gegeven. Stichting Innovatie Glastuinbouw Nederland (SIGN) en InnovatieNetwerk zijn gericht op het stimuleren en op gang brengen van grensverleggende innovaties voor de glastuinbouw. Algenteelt die het probleem van uitstoot oplost en tegelijkertijd een oogstbaar product levert, kan zo'n grensverleggende innovatie zijn.

2.

Tuinbouw, afvalwater en algen

De Kaderrichtlijn Water benadrukt het belang van watermanagement binnen de glastuinbouw. Innovaties op dit gebied zijn daarbij extra van belang. Het lozen van water, drainwater of brijn is in de nabije toekomst niet meer toegestaan, of alleen mogelijk tegen hoge kosten. Dit vraagt om ingrijpende wijzigingen en innovaties die het niveau van het individuele bedrijf te boven gaan.

Stichting H2Organic heeft een mogelijke oplossing onderzocht. Het verwijderen van fosfaat- en stikstofresten in drainwater is de hoofddoelstelling van de algenteelt op glastuinbouwdrainwater. Is de restconcentratie van deze stoffen laag genoeg, dan kan de reststroom worden geloosd. De algenteelt is in de huidige visie een vorm van upcyclen: van afvalstroom naar een nieuw bruikbaar product. SIGN heeft H2Organic opdracht gegeven dit te onderzoeken, waarbij de Rabobank en het Productschap Tuinbouw een financiële ondersteuning leverden.

2.1

De opdracht

De opdracht bestaat uit twee delen. Het **eerste** deel is het opstellen van een exploitatieplan voor algenkweek op glastuinbouwdrainwater inclusief de beschrijving van alle noodzakelijke voorzieningen. Het **tweede** deel is een inventarisatie van mogelijke locaties en het zoeken naar een beheerder voor het opstarten van een algenpilot.

Dit rapport is de uitwerking van deze opdracht. In dit rapport zijn de praktische mogelijkheden onderzocht en uitgewerkt tot aan uitvoering, budget en organisatievorm.

De uitvoering bestaat uit het zoeken van financiering, het aanwijzen van verantwoordelijken voor de taken en het praktisch bouwen en exploiteren van de pilot en mogelijk het opzetten van een algencoöperatie.

2.2 Uitgangspunten

1. Stichting H2Organic besluit tot het opzetten van een algenpilot gevoed door drainwater.
2. Stichting H2Organic bezint zich op de juridische vorm van het pilotproject.
3. Stichting H2Organic zoeken financiering voor de algenpilot.
4. Stichting H2Organic stelt een projectleider op parttime basis aan en een begeleidingscommissie.
5. Stichting H2Organic laat de algenpilot opzetten en inrichten en de testproducties uitvoeren.
6. Stichting H2Organic geeft de projectbegeleidingscommissie de opdracht een algencoöperatie voor te bereiden.

3.

Doelstelling pilot

Algen telen in een raceway-systeem¹ is in Nederland mogelijk. Een raceway-systeem is een van de teeltsystemen. Drainwater als grondstof lijkt ecologisch en economisch perspectief te bieden, maar dit is nog nooit aangetoond. De voorgestelde algenpilot kan deze vraag beantwoorden.

¹ Lees voor meer informatie
<http://bit.ly/32nb3p>.

De **doelstellingen** voor deze pilot bestaan uit:

- Het aantonen van het zuiverend vermogen van algenteelt.
- Het verkrijgen van praktijkervaring en kennis van de algenteelt.
- Het voorbereiden van grootschalige productie en verkoop, het bundelen van verwerking en marketing.
- Het vaststellen van de productiewaarde van drainwater.

4.

Organisatie

Een pilotproject als dit kan alleen slagen als er van tevoren duidelijkheid bestaat over de projectstructuur en de respectievelijke verantwoordelijkheden en bevoegdheden.

Wij stellen voor om een parttime projectleider te benoemen die de gehele leiding in handen heeft. Naast de begeleiding bij de aanbesteding en de uitvoering van de investeringen volgens beschreven bestek, is de projectleider verantwoordelijk voor de gehele exploitatie. Hij rapporteert regelmatig aan de direct betrokkenen over het verloop van het project. De projectleider zou een LTO Groeiservice-achtergrond kunnen hebben, een ondernemer kunnen zijn, of iets vergelijkbaars. Voor de dagelijkse activiteiten is een projectbeheerder benaderd.

Voor de besturing is er een projectbegeleidingscommissie, die onder leiding van Stichting H2Organic vier tot vijf keer per jaar de voortgang bespreekt. Deze commissie bestaat uit direct betrokkenen: financiers, Ingrepro, et cetera (maximaal zeven personen).

Ingrepro brengt kennis om niet in en is verantwoordelijk voor de praktische en theoretische inbreng, zodat de productie van algen snel start en beginnersfouten beperkt blijven. Ingrepro stuurt de opmaak van bestek en de uitvoering aan. Daarnaast zorgt Ingrepro voor de instructie en begeleiding van de projectbeheerder in overleg met de projectleider.

Priva verzorgt de meet- en regeltechniek van de pilot.

Met de volgende partijen vindt overleg plaats over deelname aan de pilot: Hoogheemraadschap Delfland, Gemeente Westland, Teler(s).

5.

Uitwerking van de voorgestelde aanpak

5.1 Zuiverend vermogen algenteelt

Het verwijderen van fosfaat- en stikstofresten in drainwater is de hoofddoelstelling van de algenteelt op glastuinbouwdrainwater. De restconcentratie van stikstof en fosfaat bepaalt daarmee enerzijds de waarde van het proces. Is deze laag genoeg, dan kan de reststroom op het oppervlaktewater worden geloosd of naar een ander toegestaan afvoerpunt. Is de restconcentratie te hoog, dan moeten we extra technologie inschakelen. Een constante kwaliteit van het afgevoerde water is een belangrijk doel. Aan het einde van het project moeten de gemiddelde waterkwaliteit en de spreiding bekend zijn.

5.2 Vorbereiden grootschalige productie en verkoop van algen

Naast het waterzuiverend effect ligt de waarde van het project in het oogsten van een product: de algen. Na twee jaar testen met een pilot-installatie is voldoende informatie beschikbaar voor het ontwerp en de opzet van een grootschalige productie van algen op drainwater. De

opgedane informatie wordt gebruikt voor het ontwerpen van een blauwdruk voor een algenteeltbedrijf. Dit omvat de mogelijkheden van drainwater voor de productie van algen, het ontwerp van de algenkwekerij, de verwerking van algen, de afzet van verwerkt drainwater, het vermarkten van het product en de economie van de bedrijfsvoering. De resultaten van pilot en onderzoek worden onderdeel van het publiek domein.

5.3 Teelt en afzet

De kennis over algenteelt is nog relatief jong: slechts 40 jaar. De eerste glasteelt is ongeveer 120 jaar oud, de eerste plantenteelt vond 7.000-10.000 jaar geleden plaats. Voor een geslaagde bedrijfsvoering is kennisopbouw nodig. Een pilotproject maakt daar een begin mee. Algemene kennis over de afzet van de algen – in vloeibare of gedroogde vorm – is onbekend terrein. In de ondernemersplannen van te stichten algenkwekerijen is een verzekerde afzet tegen vooraf overeengekomen basisprijzen en afnamegarantie een wezenlijke factor.

Het ontwikkelen van een algencoöperatie maakt brede ondersteuning in de agrarische sector mogelijk. In de bescheiden markt van algenproducten is het bundelen van productie, innovatie en marketing noodzakelijk. Een coöperatie is daar een goede organisatievorm voor. Zij kan de mogelijkheden van partijen aan de productie- en afnamekant vergroten.

5.4 Bundelen, verwerking en marketing

Het gebruik van de algenmassa door afnemers is zeer verschillend. Het hangt af van de toepassing van deze grondstof (cosmetica, farmaceutica, voeding, bioplastics, etc.). Dit heeft gevolgen voor productie, verwerking, distributie en verkoop. Als meerdere productiepartijen de kennis van de productiewijze, de markt en de verwerking bundelen, kan de markt van het product zich beter ontwikkelen door een constant aanbod van een uniform product. De huidige markt van algen is nog pril, terwijl de schattingen een groot potentieel tonen. Het bundelen van marktkennis zal de markt sneller tot wasdom brengen.

5.5 De productiewaarde van drainwater

De productiewaarde van drainwater is afhankelijk van de hoeveelheid en kwaliteit van de algen die met het drainwater geproduceerd kunnen worden. Op dit moment is onduidelijk hoe constant de samenstelling

van het drainwater is. Ook weten we niet wat dit betekent voor de productie van algen. Het pilotproject zal hierop antwoorden geven. Naast de hoeveelheid algen is ook de kwaliteit van de algen van belang. Allereerst zijn er de veiligheid, de chemische, de biologische en fysische eisen. Daarnaast gelden specifieke verlangens van afnemers, zoals HACCP. Door contact met marktpartijen en daadwerkelijke leveringen ontstaat in de pilot een beeld van de marktwaarde.

5.6

Samenwerken met lopende projecten en initiatieven elders

Stichting H2Organic heeft in 2008 het gebruik van drainwater voor de productie van algen en oesters laten bestuderen door Imares: 'Draining Sustainable Wealth' (zie Bijlage 3). Het project werd gefinancierd door SIGN en Rabobank Nederland. 'Draining Sustainable Wealth' vindt een vervolg in het grotere project 'Bonamia vrije oesterteelt', een samenwerking van Ingepro, Imares, Vette & Verhaart bv en Stichting H2Organic. LNV financiert 80% van de kosten. De overige kosten komen voor rekening van Ingepro, Vette & Verhaart en Stichting H2Organic. Doel van dit project is het ontwikkelen van de teelt van voor oesters geschikte algen in pilotopstelling en de teelt van oesters op land in pilotopstelling. De algenpilot is ook bestemd voor deze toepassing.

Door de Hogeschool Zeeland en tien MKB-bedrijven is het initiatief 'Raak, het zilt verzilveren' gestart. De begrote tijd is 6.200 uur, waarvan 3.830 uur door docenten van de Hogeschool Zeeland. Dit programma heeft als doel bedrijven op weg te helpen in de zilte aquacultuur, door geven van concrete antwoorden op kennisvragen van bedrijven door het opzetten van kennisuitwisseling, toegepast onderzoek en samenwerking. De provincie Zeeland subsidieert een groot deel van de kosten. Stichting H2Organic heeft zich aangesloten bij dit initiatief. Ten behoeve van het project 'Bonamia vrije oesterteelt' is nu een student van de Hogeschool Zeeland werkzaam bij Imares.

6.

Opzet en inrichting algenpilot

Het is onduidelijk hoe gevoelig de productie van algen is voor de samenstelling van het drainwater. Als algen langere tijd groeien in drainwater van verschillende herkomst, wordt bekend hoe groot de productie in $\text{kg/m}^2/\text{dag}$ is, afhankelijk van de herkomst en samenstelling van het drainwater. De pilot kan tegelijkertijd water van verschillende herkomst gebruiken voor de productie van algen. Er zijn daarom meerdere raceways gepland. Het verwerken van de algen kan met één systeem.

Voor de afzet van algen in de voedselketen moet het product aan eisen voor de chemische, fysische en biologische voedselveiligheid voldoen. Voor de afzet in de keten zal gekozen worden voor een van de bestaande kwaliteitssystemen.

De pilot bestaat uit vier raceways, met elk een oppervlak van 1.000 m^2 , overdekt met lichtdoorlatend foliescherm, energiescherm en voorzien van verwarming en CO_2 -inbreng en apparatuur voor het meten en registreren van temperatuur, pH, EC, O_2 en CO_2 . Voor de inbreng van algen geschikt voor schelpdieren zal een fotobioreactor worden geplaatst. Op deze wijze ontstaat een hybride kweekstelsel.

Het drainwater is afkomstig van naburige glastuinbouwbedrijven of wordt per tankwagen aangevoerd en opgeslagen. In verband met mogelijke chemische vervuiling zal voorbewerking van drainwater worden toegepast. Het verwerkte drainwater gaat naar toegestane afvoerpunten.

Voor het verwerken van algen na de oogst zijn benodigd:

- Een centrifuge-installatie.
- Gekoelde tanks voor het opslaan van algenconcentraat.
- Een droger.

Het starten, onderhouden en uitvoeren van de teelt, de oogst van algen en de rapportage, wordt uitgevoerd door MBO/HBO-proces-technoloog of een (ex-)glastuinbouwondernemer.

De laboratoriuminrichting bestaat onder andere uit een microscoop, roeders, glaswerk, een chemicaliënkast, een afzuigzuurkast en een tafelcentrifuge.

7.

Financiering en kosten voor een tweejarige pilot

Navolgende tabel toont de voorziene installatiekosten en de jaarlijkse uitgaven. De fotobioreactor en aanpassingen voor de algen voor oesterteelt maken het ontwikkelen van een product mogelijk voor de teelt van schelpdieren. De financiering van dit deel van het project ter waarde van € 155.000,- is door LNV en de partners in het project 'Bonamia vrije oesterteelt' gegarandeerd. Met verschillende partijen, die onder de kop 'financiering tweejarige pilot' genoemd zijn, is gesproken over het project. De reacties zijn positief. In de komende maanden zullen partijen benaderd worden met een concrete aanvraag voor sponsoring of subsidie.

Installeren van een algenkwekerij groot 4.000 m2, grond niet berekend:	€	450.000
<i>Omschrijving kosten bassin en apparatuur</i>		
Graafwerkzaamheden en plastic folie aanbrengen	40.000	
Folietunnel over de raceway pond	80.000	
Aan te schaffen apparatuur (centrifuge, droger, pompen, schoepenrad, tanks, etc.)	150.000	
Fotobioreactor, aanpassen oogstapparatuur t.b.v. oesteralg	60.000	
Huisvesting en laboratorium (portocabine, mogelijk huren)	40.000	
Meet- en regeltechniek	40.000	
Kennis algenteelt	40.000	
Kosten 2 jaar draaien		499.000
<i>Omschrijving kosten per jaar</i>		
Projectleider (part-time)	30.000	
Begeleiding Ingrepro 1 dag per week	36.000	
Arbeid	107.500	
Elektra	14.000	
Metingen inclusief laboratoriumkosten	10.000	
Additionele CO ₂ en warmtetoevoeging	10.000	
Opbrengst algenkweek 10.000 kg	-30.000	
Verzekeringen, administratie en bureaunkosten	10.000	
Transportkosten	15.000	
Management H2Organic	25.000	
Pacht terrein	2.000	
Onvoorzien	20.000	
Totale kosten per jaar	249.500	
Totale kosten project excl. BTW	€	949.000
Financiering tweejarige algenpilot	€	949.000
<i>Beoogde bijdrage als subsidie of sponsoring</i>		
Productschap Tuinbouw	300.000	
Bonamia vrije oesterteelt	155.000	
Priva	40.000	
Ingrepro	40.000	
Leverancier folietunnel	40.000	
Gemeente Westland + gemeente Lansingerland	92.500	
Rabo	92.500	
Hoogheemraadschap	92.500	
Provincie Zuid-Holland	92.500	
4B project, pacht perceel	4.000	

De apparatuur van de kwekerij komt aan het einde van het project ter beschikking aan de hoogste bidder. De netto-opbrengst van de verkoop komt in mindering op de installatiekosten aan het einde van project. De exacte producties zijn nog niet bekend, wat betekent dat de opbrengst van de productie in prijs en hoeveelheid kan variëren. In de begroting is een bedrag als productiewaarde opgenomen. Als blijkt dat de opbrengst meer is, is minder steun benodigd, en vice versa.

8.

Taakverdeling

Stichting H2Organic zoekt financiering bij bijvoorbeeld.:

1. Gemeenten Westland, Lansingerland
2. Hoogheemraadschap
3. Productschap tuinbouw
4. Provincie
5. GMO gelden
6. Glastuinbouwondernemers

Stichting H2Organic stelt de projectleider aan en richt de projectbegeleidingscommissie op. De projectbegeleidingscommissie treft de voorbereidingen voor een op te richten alencoöperatie.

9.

Juridische vorm

Stichting H2Organic bezint zich op de juridische vorm van het pilot-project. Te denken valt aan de stichtingsvorm, de B.V. dan wel een andere vorm. Koppeling aan een telersvereniging of een glastuinbouwbedrijf kan ook een goede optie zijn. Tijdens of na de pilot wordt de samenwerkingsvorm waarschijnlijk de coöperatie.

9.1 Opzet algenbedrijf tot coöperatie

De afzet van de geproduceerde alg moet de productie sturen, want de marketing en de ontwikkeling van product en oogstproces zitten aan elkaar vast. De algenproductie kan in Nederland bij meerdere agrarische clusters (veehouderij, akkerbouw, tuinbouw) plaatsvinden. De verwerking, de marketing en de verkoop van agrarische producten gebeuren nu grotendeels via coöperaties en/of de verwerkende industrie. Het lijkt verstandig die lijn te volgen. Dit zou in kunnen houden dat algenkwekerijen zich verenigen in een algencoöperatie, die de kennisopbouw stimuleert en tegelijkertijd de verwerking en marketing organiseert, of zelf uitvoert voor de leden. Ingepro is bereid met haar kennis en marktcontacten aan een dergelijke coöperatie mee te bouwen.

De *systeeminnovatie* zit onder meer in de intersectorale aanpak, want andere (agrarische) bedrijven met algenkweek kunnen inschuiven in de organisatievorm. De ketenaanpak – waarbij de agrarische sector inclusief de glastuinbouw met algenteelt de aansluiting vindt met bijvoorbeeld de farmaceutische industrie, voedingsindustrie of energie-sector – ondersteunt dit nog verder.

Een van de eerste opgerichte agrarische coöperaties droeg de naam ‘Welbegrepen eigenbelang’.

Een coöperatie is een ondernemingsvorm waarin individuen hun individuele kracht bundelen in een gezamenlijke kracht, die aangewend wordt voor het collectief. Elk lid van de coöperatieve vereniging deelt mee in de voordelen van deze bundeling. Vrijwel alle coöperaties vinden hun oervorm in de primaire agrarische sectoren. Coöperaties zijn in feite zelfsturende organisaties, die uit het ledenbestand weliswaar hun bestuurders en toezichthouders rekruteren, maar waarbij de algemene ledenvergadering het beslissende woord heeft.

Coöperaties maken het mogelijk om in de keten een belangrijke positie in te nemen. Een duidelijk voorbeeld treffen we aan bij zuivelcoöperaties, die de basisgrondstof melk opwerken tot een scala van producten, die rechtstreeks de supermarkten in gaan.

9.2 Algencoöperatie als eindvorm

Gegeven de huidige situatie lijkt de voorbereiding en oprichting van een algencoöperatie een basisvoorwaarde om de kweek en afzet van algen een flinke impuls te geven. Gelijktijdig met de voorbereiding van een kweekpilot kan gestart worden met de voorbereidingen voor een dergelijke coöperatie. De hoofddoelstelling is de bundeling van voldoende product, of een scala van producten om bij een verwerker en in de markt een invloedrijke speler te zijn. Daarbij is een tweetal fases te onderscheiden:

Fase 1:

De coöperatie bestaat uit leden/kwekers, die hun product inbrengen bij de coöperatie om te laten verwerken en verhandelen. Dit laatste besteedt de coöperatie uit aan een deskundige partij, die een marktconforme vergoeding voor de geleverde algen uitbetaalt. Deze partij is bijvoorbeeld Ingrepro. Vervolgens betaalt de coöperatie uit aan de leden, na aftrek van kosten afhankelijk van de kwaliteit van de geleverde algen en de hoeveelheid product.

Fase 2:

De coöperatie en de dienstverlener integreren. In deze fase breiden de activiteiten van de coöperatie zich uit. Aanvankelijk ging het om een bundeling van geproduceerde algen. Na de integratie is de coöperatie een bredere dienstverlener geworden. Zij verwerken en vermarkten in eigen beheer, ze adviseren de leden over hun bedrijfsvoering. In de keten is de coöperatie een speler van formaat, die snel inspeelt op veranderingen in de markt en dit communiceert met de leden om de beste prijs uit de markt te halen.

Met het ingaan van deze fase rijst de vraag naar de financiering van de coöperatie. Het uitgangspunt van veel coöperaties is dat de leden

zorgen voor een toereikend eigen vermogen om bij externe financiers tegen gunstige tarieven te kunnen financieren. Samen met de leveringsplicht van de leden vormt medefinanciering voor goede betrokkenheid van de leden. Daar staat wel tegenover dat de toegevoegde waarde van de coöperatie steeds zonneklaar moet zijn – een uitdaging apart.

Deelname aan de coöperatie staat open voor alle ondernemingen die algen produceren, onafhankelijk van welke (agrarische) achtergrond dan ook.

Bijlage I: Technische waarnemingen uit de praktijk

Vergelijking productie glastuinbouw en algenteelt

Een conservatieve schatting gepresenteerd door René Wijffels op het eerste Nederlandse algencongres gaf de onderstaande productie in droge stof:

Systeem	ton/ha/jr
Bassin gemengd	25
Buizen fotobioreactor	40
Platte plaat fotobioreactor	100
Theoretisch maximum	120

Deze conservatieve schatting van het theoretisch maximum geeft 2,3 gr ds/Mol PAR als we uitgaan van een jaarlijks groeilicht van $0,7 \times 7757$ Mol PAR/m²/jr in de reactor. In een tuinbouwkas onder gunstige omstandigheden is de nuttige drogestofproductie van rozen 0,875-1 gr/Mol PAR. Wanneer we uitgaan van een oogstindex van 0,65, dan is de totale drogestofproductie 1,3-1,5 gr ds/Mol PAR. Ter vergelijking in Tabel 1 de huidige productie van tomaat en roos: 49 en 73 ton/ha/jr.

gewas	Product		drogestofproductie		
	vers kg/m ² /jr	% ds	product kg/m ² /jr	oogstindex	gehele plant kg/m ² /jr
tomaat	70	5	3,5	0,72	4,9
roos	19	25	4,75	0,65	7,3

Van een algenteelt mag meer droge stof verwacht worden dan van een tomaat of roos, maar op dit moment is dat nog niet zo. Een alg heeft geen steunweefsel en geen transportsysteem. Er is daardoor meer fotosynthese in de totale massa. De huidige inschatting is gemaakt met beperkt begrip van de algenteelt. Dit is begrijpelijk: de algencultuur vindt commercieel nog maar een kleine veertig jaar plaats.

Tabel 1: Productie tomaat op steenwol onbelicht, vers product en droog gewicht product en gehele plant. Productie roos belicht 14 klux, huidig maximum, vers product, droog gewicht product en gehele plant.

Bassin productiesystemen

De grootschalige productie van algen in de open lucht riskeert de invasie van andere algensoorten, protozoën, fungi en bacteriën. Een monocultuur lukt alleen langdurig als de chemische karakteristieken van het water door bijvoorbeeld pH of zoutgehalte concurrerende algen uitsluiten. Er zijn meerdere bedrijven die ongeroerde vijvers voor commerciële productie van algen exploiteren. Tot voor kort leek dit alleen een rendabel systeem als het klimaat een jaarrond productie toestaat en de grondprijs laag is.

Ronde bassins worden commercieel toegepast in Japan, Taiwan en Indonesië voor de productie van *Chlorella*-soorten. Zij vragen dure constructies en veel energie t.b.v. het mengen van het kweekmedium. Raceway-vijvers worden veel toegepast voor *Arthrospira*-soorten (*Spirulina*), onder andere door Cyanotech in Hawaii (7,5 ha) en Earthrise Farms in Californië (15 ha). Nature Beta Technologies Ltd in Israël produceert *Dunaliella salina*. Het open raceway-systeem heeft specifieke nadelen:

- Er is meer dan 15 cm waterdiepte nodig, anders ontstaat te veel turbulentie.
- Bij een diepte van 15 cm mag de celconcentratie niet te hoog zijn, maximaal 0,6 gr/l, anders ontstaan verontreiniging en hogere oogstkosten.
- Er is veel verlies door verdamping, verdunnen door regen.
- Er is geen temperatuurcontrole.

De maximale productie van 40 gr/m²/dag is gevonden in experimentele vijvers. Goed gemanaged kan de gemiddelde productie 20-25 gr/m²/dag bedragen gedurende een kortere periode. De langetermijnproductie overschrijdt zelden de grens van 12-13 gr/m²/dag. De kosten van commerciële raceway-systemen werden in 2001 door Lee op 9-17 €/kg droge stof ingeschat. In 2007 kwam René Wijffels uit op 5,7 €/kg droge stof bij een oppervlakte van 100 ha. De berekende productiekosten dalen bij opschaling. De heterotrofe productie in fermentors komt uit op minder dan 6 €/kg droge stof (Gladue & Maxey, 1994). In Nederland gebruiken Ingepro en Aquaphyto een raceway-vijver van 4.000 en 1.500 m²

Fotobioreactoren

In een **fotobioreactor** heeft de buitenlucht geen vrije toegang, maar het licht wel. De uitwisseling van gassen en de vervuiling zijn daarvoor gecontroleerd. Door de bescherming tegen ongewenste vervuiling is een groter aantal algen geschikt voor deze teeltwijze. De reactoren bestaan uit platte vlakken of ronde buizen, horizontaal, schuin, verticaal, spiraal, slangvormig. De werking van de reactoren verschilt in de wijze van mengen, de gasuitwisseling of het type pompen en het aantal fasen (één of twee). Een eenfasereactor heeft één compartiment, waarin zich zowel water als gas bevindt. Een tweefasereactor bestaat uit een watercompartiment voor de groei van de algen en een gascompartiment waarin de gasoverdracht continu plaatsvindt. Het aantal situaties waarin absolute steriliteit wordt gehandhaafd, is beperkt. Een fotobioreactor is gewoonlijk ontworpen voor één bepaalde alg. Licht, nutriënten, temperatuur en morfologie zijn te verschillend voor een universele reactor. De criteria voor het ontwerp van een reactor zijn: de oppervlakte-volumeverhouding, de oriëntatie en inclinatie, het mengen en ontgassen, het systeem van reinigen, de temperatuurrege-

ling, de lichtdoorlatendheid en de duurzaamheid van de constructie. Daarbij spelen benodigde arbeid en complexiteit van werkzaamheden een rol.

De productiviteit per m² grondoppervlak is het doorslaggevende criterium voor een vergelijking van de prestaties van fotobioreactoren.

Slangvormige fotobioreactoren zijn in ontwikkeling sinds 1950.

De laatste twintig jaar zijn aanzienlijke vorderingen gemaakt op het gebied van temperatuurcontrole, mengen, verhouding oppervlak/volume, ophopen van O₂, lichtverzadiging, gas-vloeistofoverdracht, fluid dynamics en rheologisch gedrag (viscositeit) van een algencultuur. De maximale productie bleek in 1986 50% hoger dan bij een open raceway in een gelijktijdige vergelijking.

Het bedrijf Algaelink te Roosendaal biedt een slangvormige reactor aan voor de productie van 1-100 ton droge algen. De basisuitvoering voor 48 m² met 36 meter buis en 3,5 m³ inhoud heeft een prijs van € 69.000,- voor een compleet systeem. Het waterverbruik van dit systeem is 3 m³/dag, de productie 3,5 tot 5 kg droge alg en het verbruik tussen 1,5-2,5 liter olie per dag. Uit de documentatie van Algaelink komen zeer opmerkelijke productiecijfers naar voren voor de gesloten systemen, namelijk 600 ton/ha/jr. Voor het koelen van de systemen stelt men het gebruik van evaporatie voor.

In Singapore produceerde een alfavormige buizenreactor 72 gr/m²/dag, gemeten naar het grondoppervlak. De buizen van deze reactor stonden in een hoek van 25° met het grondoppervlak (Lee ea, 1995). In een Helical bubblerreactor van 150 liter haalde men een productiviteit met *Athrospira platensis* van 0,9 gr/l/dg en een fotosynthetische efficiëntie van 6,6%. Het systeem produceerde opmerkelijk stabiel. Omgerekend naar een volume van 3,5 m³ zou deze 0,9 gr/l/dg X 3500 l = 3.150 gr/dg moeten produceren.

Technogrow teelt *Nannochloropsis oculata* in een buizenreactor in een kas in Made (Noord-Brabant). Een gesloten systeem is daar gekozen vanwege de trage groei van de alg. Het eindproduct is bestemd voor de nichemarkt van voedingssupplementen. Het klimaat in de kas wordt geregeld met vloerverwarming, koelen en belichten.

Met **platte alveolar fotobioreactoren** zijn door de hoge oppervlak-volumeverhouding van 160:1 producties gehaald van 2 g/l/dg, bij een celdichtheid van 4-6 gr/l. 'Alveolar' betekent: voorzien van gescheiden verwarming en algkanalen in een platte reactor. De productie per m² grondoppervlak kwam niet hoger uit dan 24 gr/m²/dag doordat de platen schuin stonden opgesteld t.o.v. van de grond. Als platenreactors verticaal naast elkaar staan, komt de productie uit op 1,3 g/l/dag en 28 g/m² belicht plaatoppervlak. Door de dichtheid van 5 m²/m² plaat/grondoppervlak ontstond een productie van 130 g/m²/dag (Pulz & Scheibenbogen, 1998) in Duitsland. De parallel geplaatste verticale platen verstrooien het licht op het teeltoppervlak, waardoor de lichtefficiëntie sterk toeneemt. Het handhaven van voldoende turbulentie en de opbouw van hoge zuurstofspanning in dit type reactor zijn een probleem. Uit ander onderzoek aan platte glasreactoren is het inzicht ontstaan dat het optimale lichtpad afhankelijk is van de algensoort.

De alveolar-reactoren hebben technische nadelen: veel interne verbindingen kunnen gaan lekken, ze geven aangroei en veroorzaken schade aan de kwetsbare algen. Bovendien zijn er veel platen nodig voor het opschalen naar een commerciële schaal. De voornoemde Duitse groep is daarom overgestapt op buisreactoren.

Verticale glazen cilinders 2-2,5 m hoog en 30-50 cm doorsnee zijn veelvuldig in gebruik voor de productie van algen voor de larven van schelpdieren en vissen. Vanaf de bodem wordt lucht ingeblazen. Dit zorgt dan tevens voor het mengen van de vloeistof. Het licht is natuurlijk of kunstmatig. Een systeem van 32 buizen, 1,5 m hoog en 2,6 cm interne doorsnede gaf met *Isochrysis galbana* een productie van 1,6 gr/l/dag in buitenteelt (Hu & Richmond, 1994).

Commerciële fotobioreactoren

Tussen 1990 en 2000 zijn zes bedrijven gestart en gestopt met de groot-schalige productie van algen in bioreactoren. De redenen die worden genoemd voor het stoppen van de activiteiten zijn: instabiliteit van het productieproces, infectie met concurrerende algen, technische fouten in het ontwerp m.b.t. de doorsnede van de buizen, onvoldoende mengen, het snel verouderen van het materiaal, onvoldoende ontgassen, de aangroei aan de wand, onvoldoende controle van de temperatuur, een te hoge s/v-verhouding, onvoldoende circulatie en slecht management. Een van de bedrijven was Addavita, dat een 0,4-5 m³ buizenfotobioreactor aanbood in de vorm van een rechtopstaande helix. Enkele systemen draaien, of draaiden, bij schelpdier-hatcheries in het Verenigd Koninkrijk. De investering en exploitatie daarvan was ondersteund met £ 1,75 mlj Europese subsidie in samenwerking met de John Moore universiteit. Twee van de zes bedrijven zijn gestopt zonder dat een duidelijke reden is genoemd.

Wereldwijd is een aantal fotobioreactoren commercieel actief: in Nederland, Duitsland, Spanje en USA. In Duitsland is dat Bioprodukte Prof. Steinberg, dat de in 2001 gestopte Ökologische Produkte Altmark GmbH in 2004 heeft overgenomen en gemoderniseerd. Het oorspronkelijk ontwerp omvatte 12.000 m² kas, waarbij 700 m³ productievolume in 500 km buis lag. De investering was 16 miljoen DM. Het productie-doel was bij aanvang 150 ton droge stof per jaar ofwel 125 ton/ha/jr *Chlorella vulgaris*. Onduidelijk is hoeveel de productie nu bedraagt. Micro Gaia Inc te Hawaii bouwde in 2000 een 8 ha grote algenkwekerij t.b.v. de productie van astaxanthin. De reactor is een biodome, de moedermaatschappij is Fuji Chemical Industry Co. Ltd. Op haar website staat ook een foto van de biodome. Het bedrijf laat zien dat de installatie nog steeds in gebruik is.

Aquasearch Inc, Hawaii, (huidige naam Mera Pharmaceutical) startte in 1999 de productie. Men verkoopt astaxanthin geproduceerd uit *Haematococcus pluvialis*. Daar is een slangenreactor in gebruik, gekoeld met zeewater. De productie vereist een steriele start, na vier productiecycli wordt de reactor ontmanteld.

Fitoplancton Marina, Cadiz, Spanje, exploiteert een buisreactor gekoeld met water. De geproduceerde alg is voor aquacultuur, cosmetica en aquaria. Gevriesdroogde algen, starters, strains, pasta's en concentraten worden verkocht onder de handelsnaam Easy Algae.

AlgaeLink start in oktober 2008 een commerciële algenboerderij voor de productie van biodiesel bij Cadiz in Spanje.

Technogrow in Made (Noord-Brabant) schakelde in oktober 2007 over van toegepast onderzoek naar commerciële productie. De reactor is nu acht maanden zonder onderbreking in gebruik. De gestelde productie ligt op 35 ton/ha/jr.

De oudere bedrijven met een fotobioreactor hebben allemaal een herstart gemaakt. Het opzetten van een bedrijf met een fotobioreactor is tot nu toe dus geen gegarandeerd succes. Het feit dat de herstart er kwam, geeft aan dat er wel genoeg mogelijkheden overbleven om een succesvol bedrijf te laten bestaan.

Vergelijking van bassin- en fotobioreactorproductie

De uitkomst van de vergelijking hangt af van meerdere factoren, onder andere de algensoort en de wijze waarop de productiviteit wordt vergeleken. *Athrospira platensis* wordt commercieel alleen in bassins gekweekt, terwijl in een fotobioreactor de productie gemiddeld 40% hoger is. De hogere productie compenseert de extra investeringen evenwel niet. *Dunaliella* en *Nanochloropsis* hebben geen speciale groeiomstandigheden nodig. Bij een teelt in een vijver ontstaan daardoor toch vaak problemen met infecties. De groei van *Dunaliella* en van *Nanochloropsis* in een fotobioreactor is per m² bedrijfsoppervlak niet beter, maar wel betrouwbaarder. Samen met een hogere celdichtheid in de fotobioreactor geeft dit de doorslag voor het gebruik van een fotobioreactor voor deze soorten.

In bassinsystemen gebruikt men voor de start van de cultuur vaak een fotobioreactor. Deze combinatie noemt men een hybridesysteem. Het opschalen van fotobioreactoren is aanzienlijk gecompliceerder dan het opschalen van bassins. Op dat moment komen regelmatig nieuwe vraagstukken van het reactorsysteem naar boven, die dan pas opgelost kunnen worden.

Vanuit de huidige praktijk is aan ons ook een kostprijs gemeld van €3,- /kg droge stof Food en Feed grade. Dit is aanmerkelijk lager dan uit de berekeningen van René Wijffels volgt.

In dit overzicht bedraagt het verschil in productiekosten tussen een raceway-vijver en een fotobioreactor 1,70 €/kg ds. Een van de belangrijkste kostenposten voor een buizenreactor is o.a, de energie voor de circulatiepomp, zie Tabel 2. Vanwege deze kosten is gebruik van algenteelt voor energieproductie voorlopig uitgesloten.

Productiekenmerk	dimensie	raceway- vijver	vlakke plaat	buizenreactor
Biomassaproductie	ton/jr	2071	6363	4141
Fotosynthese efficiëntie	%	1,5	5	3
Lichtpad	m	0,2	0,03	0,034
Productiekosten van de Biomassa	€/kg ds	5,7	4,03	4,02
Belangrijkste kostenfactor	%	centrifuge 15 %	Lucht-blowers 24 %	circulatiepomp 46 %

Bron: René Wijffels, WUR (eerste Nederlandse algencongres, 2008)

De schaalgrootte heeft flinke invloed op de kostprijs, tussen 1 en 100 ha daalt deze van € 10,62 /kg droge stof naar € 4,02 /kg ds. De kostprijs kan dalen naar € 0,40 /kg droge stof als de teelt plaatsvindt onder lichtniveau van Curaçao; de efficiëntie van de fotosynthese stijgt van 1,5 naar 5 % bij extra CO₂-gebruik. In deze berekening zijn kosten voor CO₂ en medium niet meegenomen. Op dat moment komt de

Tabel 2: Vergelijking systemen van 100 ha.

Drainwater

De samenstelling van drainwater uit de glasteelt is afhankelijk van het seizoen, de teelt en het bedrijf. In het algemeen kan daarom slecht een indicatie gegeven worden van de samenstelling daarvan. In Tabel 3 staan de streefcijfers voor drainwater van Bllg, te Naaldwijk. Deze vertegenwoordigen over het seizoen en de bedrijvenpopulatie heen een gemiddelde waarde. In de huidige teeltpraktijk van tomaten, komkommer en paprika op substraat is lozen een uitzondering; bij rozen op substraat komt nog steeds een aanzienlijk deel van het drainwater in de sloot. De teelt van chrysant, radijs en sla vindt nog steeds plaats in de grond. Recirculeren is daar maar voor een deel mogelijk; een fors deel van de kunstmest komt in het oppervlaktewater terecht.

Gewas	EC	pH	mmol/l											umol/l					
			NH ₄	K	Na	Ca	Mg	NO ₃	Cl	SO ₄	P	Si	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo	
komkommer	2,8	5,2	0,1	8	2	6,5	3	18	1	3,5	0,9	5	25	7	7	50	1,5	1	
tomaat	3,9	5,5	0,1	8	2	10	4,5	16	9	6,8	1	1	25	7	7	50	1	1	
paprika	2,8	6,2	0,1	5	2	8,5	3	17	1	3	1,2	0,7	15	5	7	80	0,7	0,5	
roos	2,1	5,2	0,1	5	2	5	2,5	13	1	2,5	0,9	1	25	3	3,5	20	1	1	
gerbera	2,3	5,2	0,1	6	2	5	2	13	4	2,5	1	0,2	40	3	5	40	1	1	
gemiddeld	2,9	5,5	0,1	6,6	2	7,5	3,3	16	3,7	4,1	1	1,7	25	5,4	6,1	49	1	0,9	

Tabel 3: Meetwaarden in drain.

Een meetserie in Waalblok Westland in 2007 leverde de waarden in Tabel 4 op.

periode	EC	pH	mmol/l											umol/l					
			NH ₄	K	Na	Ca	Mg	NO ₃	Cl	SO ₄	HCO ₃	P	Si	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
22-28 mrt 2007	2,2	7,6	<0,1	2,3	4,2	5,8	1,5	3,1	4,5	2,6	7,5	0,1	0,5	1,5	2,0	0,3	25	0,3	0,2
16-22 juni 2007	2,5	7,6	0,1	3,2	5,1	6,8	2,1	4,8	5,4	3,4	7,0	0,1	0,7	1,4	1,3	0,6	36	0,5	0,0
Gemiddeld	2,4	7,6	0,1	2,8	4,7	6,3	1,8	4,0	5,0	3,0	7,3	0,1	0,6	1,5	1,7	0,5	31	0,4	0,1

Tabel 4: Analyse 2 meetseries drainwater uit het Waalblok, Westland, in 2007.

Het drainwater uit het Waalblok bevat kwelwater. Hierin zit onder andere NaCl en HCO₃. De waarden voor Natrium, Chloor en Carbonaat zijn hoog vergeleken met de meetcijfers van andere ionen ten gevolge van de kwel. De fosfaatconcentratie is laag, want door de hoge pH slaat het fosfaat neer.

De algenteelt heeft sterke overeenkomst met de plantenteelt in kassen. Het permanent optimaliseren van het groeimedium en de externe omstandigheden zijn zeer vergelijkbaar en vragen vaak eenzelfde benaderingswijze van de kweker/ondernemer. Het aantal constant te monitoren groeifactoren is in een interview gesteld op twintig. Voor de glastuinbouw komt dit aantal als laag over.

De verbinding tussen algenteelt en glastuinbouw komt vooral voort uit de gedachte van optimaal watermanagement. De reststromen van drain- en brijnwater bevatten namelijk flinke gehalten nutriënten, waaronder N en P, die via een upcycle-proces tot waarde gebracht kunnen worden en daarmee de kosten van dure afvoer beperken. De uitputting van nutriënten is in het project 'Draining sustainable profit' onderzocht en als veelbelovend betiteld. Vooral N kan tot een minimale hoeveelheid teruggebracht worden.

Oogsten en bewerken van algen

Het oogsten van algen is een relatief duur proces. Dit komt door de combinatie van lage concentratie (0,5-1 gr/l) en de omvang van de deeltjes (3-30 µm). Een universele oogstmethode voor algen bestaat niet; elke soort vraagt een specifieke aanpak. De verschillende te onderscheiden processen zijn:

- Flocculeren,
- Centrifugeren,
- Filtreren,
- Ontwateren,
- Openbreken van de cel,
- Isoleren van product,
- Zuiveren van het product.

In waterzuiveringsystemen is flocculatie van algen de meestgebruikte methode; de chemicaliën en het flocculatieproces zijn evenwel nauwelijks goedkoper dan centrifugeren. Daarnaast kunnen toxische effecten op effluent en biomassa ontstaan.

Makkelijk schoonmaken en het kunnen steriliseren van de machines zijn de redenen dat centrifugeren de belangrijkste oogstmethode is voor algen. Afhankelijk van de grootte van de alg zijn verschillende type centrifuges beschikbaar, zoals tubular bowl, batch disc, nozzle disc, valve disc, opening bowl, imperforate basket en scroll discharge. Voor hatcheries en opkweekbedrijven, waar een langdurige opslag nodig is, beschouwt men centrifugeren als de beste oogstmethode. De oogstefficiëntie van het proces ligt tussen 40-95 % en hangt af van de toegepaste centrifugale kracht, die kan variëren van 1.300 g tot 13.000 g. Door de hoge g-kracht raken cellen beschadigd.

Op het moment maken verschillende kleine aquacultuurbedrijven gebruik van membraanscheiding voor de oogst van algen. Deze techniek is vooral geschikt voor productie op kleine schaal (< 2.000 l).

Na de oogst van de algen heeft de algensoep 5-15 % droog gewicht, dus het oogstproces heeft de algenconcentratie 50-200 keer vergroot. Tijdens drogen verdampt per kg droge alg 6-20 liter water. De benodigde verdampingsenergie is dus een belangrijke kostenpost. De meestgebruikte methoden zijn werken met een sproeidroger, drumdroger, vriesdroger en drogen in de zon. Sproeidrogen is door de hoge kosten vooral geschikt voor dure producten. Het kan echter sommige componenten van de algen, zoals pigmenten, beschadigen vanwege de hoge temperatuur. De droogkosten zijn een wezenlijke belemmering voor de doorbraak van algenpoeder voor laaggeprijsde producten zoals eiwit en voedsel.

Algen die veel EPA of andere hoogwaardige onverzadigde vetzuren

bevatten, zijn in principe geschikt voor het opwerken tot vetzuur. De geogoste algen gaan dan direct het extractieproces in. De algen *Isochrysis galbana*, *Phaeodactylum tricornutum* en *Porphyridium creuntum* zijn hiervoor onderzocht. De processtappen die hierbij nodig zijn: chemisch of mechanisch kapotmaken van de cellen, isoleren van het product door extractie en adsorptie, zuiveren van het product door bijvoorbeeld chromotografie, ultrafiltratie of elektroforese. Deze processen doen een groot beroep op procestechnologische vaardigheid en kapitaal. In een rekenvoorbeeld voor EPA uit *P. tricornutum* zijn de proceskosten 932 €/kg EPA. Dit lijkt ons erg hoog.

Productgroepen en toepassingen

Tot nu toe zijn circa 25.000 algensoorten beschreven. Binnen elke algensoort bestaat de normale diversiteit die alle soorten kenmerkt. Bovendien muteren algen net als andere organismen: 'de alg' bestaat daarom niet. Zoutwater- en zoetwateralgen, algen met omega3-vetzuurproductie of zonder: er bestaat een lange rij typeringen van algen.

Chlorella

De commerciële massacultuur van *Chlorella* is gestart rond 1970. In eerste instantie als product voor de gezondheid, later als voedsel voor rotiferen en vingerlingen in de kweek van jongbroed voor de viscultuur. In 1975 was de jaarlijkse productie 200 ton, in de jaren negentig ongeveer 2.000 ton. De reputatie van *Chlorella* als voedsel voor de gezondheid is gebaseerd op een groot aantal rapporten waarin de anti-tumor-effecten van de -1,3-glucaan zijn aangetoond. Deze polysaccharide uit *Chlorella* is een actieve immunostimulator, vangt vrije radicalen af en vermindert het gehalte aan bloedvetten.

De meeste commerciële productie van *Chlorella* in Zuidoost-Azië vindt plaats in mixotrope open teelt. Azijnzuur is daarbij de koolstofbron, 2-4 gr AC per gr Chlorella. De heterotrofe en autotrofe mechanismen van Chlorella lijken onafhankelijk van elkaar te functioneren. De mixotrofe productie in Taiwan is op een zonnige dag in de zomer 30-35 gr/m² en op een regenachtige dag 10-15 gr/m². Het toevoegen van azijnzuur is niet alleen voedsel voor het heterotrofe proces maar ook CO₂ voor het autotrofe proces. Azijnzuur concurreert daarmee met doseren van CO₂. De productie in dit proces is anderhalf tot twee maal zo hoog als in het autotrofe proces.

Arthrospira (Spirulina)

Van het Cyanobacter-geslacht *Arthrospira* worden *A. platensis* en *A. maxima* in commerciële teelten gebruikt. De jaarlijkse biomassa-productie van *Arthrospira* was in het jaar 2000 ongeveer 2.000 ton. Het oorspronkelijke gebruik als menselijk voedsel supplement en diervoer is uitgebreid naar grondstof voor de productie van fijne chemicaliën voor klinische diagnose, biologisch onderzoek en cosmetische toepassingen. Recente studies ondersteunen de aspecten voor de gezondheid en de therapeutische effecten. Zij zullen de toepassing van dit organisme in de farmaceutische industrie en de voedingsmiddelenindustrie bevorderen.

De belangrijkste groeifactoren voor *Arthrospira* zijn licht (verzadiging bij 150-200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), zoutgehalte (laag tot gemiddeld) en alkaliteit (pH = 9,5-9,8), temperatuur (optimum 35-38 °C). *Arthrospira* groeit ook heterotroof, vergelijkbaar met *Chlorella*; de mixotrofe teelt neemt toe in de commerciële massacultuur.

Commerciële productie vindt plaats in open raceway-systemen van 1.000 tot 5.000 m^2 , voorzien van een schoepenrad. De sleutelparameters voor het productieproces zijn de cultuurdiepte, de graad van mengen en de dichtheid van de algen.

Het oogsten van de *Arthrospira*-biomassa gebeurt met geautomatiseerde filtratie; gebruik van drie verschillende filtratiesystemen in serie zou de oogstcapaciteit kunnen vergroten en mogelijk minder schade aan de algen veroorzaken. Sproeidrogers en drumdrogers zijn in gebruik voor het drogen tot minder dan 3-4 % vocht. Drogen moet in een periode van seconden tot minuten gebeuren, omdat anders hittegevoelige pigmenten en enzymen beschadigen. Sproeidroger heeft de voorkeur als de *Arthrospira* voor menselijke consumptie is bestemd, alhoewel de kosten dan hoger zijn dan met drumdrogen. Voor dierlijke voer is drumdrogen geschikt. De gedroogde biomassa moet na het drogen direct vacuüm worden ingepakt in een zuurstofdichte folie.

Arthrospira bevat tot 65% eiwit, een flinke hoeveelheid essentiële vetzuren, onder andere γ -linoleenzuur (GLA), en andere stoffen waardoor het product wereldwijd verkocht kan worden als een functioneel voedingsmiddel in gezondvoedselwinkels. De grootste afzet van *Arthrospira* is voor diervoedsel, namelijk de aquacultuur- en de pluimveesector.

Klinische en preklinische testen wijzen in de richting van therapeutische effecten van *Arthrospira*. Daarnaast is *Arthrospira* een uitstekende bron voor phycobiliproteïne; 17% van het drooggewicht kan uit deze stof bestaan. De stof vindt zijn breedste toepassing als fluorescente stof voor celoppervlakmarkeerders bij het sorteren van cellen. De hoge invangcapaciteit voor vrije radicalen maakt de stof in potentie bruikbaar als antitumor- en antikankermedicijn. GLA vermindert het gehalte aan lage dichtheid lipoproteïnes, heeft indirect een positief effect op het bloedvatstelsel, verbetert de menstruatiecycclus en helpt tegen eczeem.

Dunaliella

De *Dunaliella*-soorten zijn de meest zouttolerante eukaryotische fotosynthetische soorten. Ze kunnen zich aanpassen aan zoutconcentraties tussen 0,1 en 4 mol/l. De celinhoud wordt omgeven door een celmembran en een slijmlaag. De celvorm past zich daardoor makkelijk aan aan veranderende osmotische omstandigheden. De glycerolconcentratie in de cel is evenredig met de zoutconcentratie waarin de *Dunaliella* leeft. Hoge stressomstandigheden zoals veel zout, extreme pH, lage temperatuur, nutriëntgebrek gecombineerd met veel licht zetten de *Dunaliella*-soorten aan tot productie van β -caroteen.

Sinds 1980 zijn meerdere bedrijven gestart met de productie van *Dunaliella*-soorten in woestijngebieden met een overvloed aan brak water of zeewater in de nabijheid. Het water bevat dan veel Na, Mg, Ca, Cl en SO_4 . CO_2 is onder deze omstandigheden de enige koolstofbron. Groei op suiker of azijnzuur, zoals bij *Chlorella*, bleek geen succes. De specifieke omstandigheden nodig voor *Dunaliella*-soorten maken de teelt in Nederland ten behoeve van carotenoïden minder

waarschijnlijk.

Dunaliella-caroteen wordt in veel verschillende markten gebruikt: β -caroteen extracten, *Dunaliella*-poeder wordt gebruikt voor menselijke consumptie en als vee- en visvoer. De prijzen variëren tussen 300 en 3.000 \$/kg, afhankelijk van de kwaliteit.

Haematococcus

De alg *Haematococcus* is een bron voor astaxanthine productie. De belangrijkste markt is aquacultuur – vooral zalm, forel en zeebaars. Astaxanthine geeft de kleur aan het visvlees, de waarde is omstreeks 2.500,- \$/kg. De meeste verkochte astaxanthine (ongeveer 95%) is synthetisch, maar de consumenten vragen meer naar natuurlijke producten. Dit biedt mogelijkheden voor de *Haematococcus*-cultuur. Naast gebruik in visteelt biedt algenvoedsel uit *Haematococcus* eveneens mogelijkheden voor humane voeding.

Haematococcus groeit in eenvoudige neutrale cultuurmedia; het infectiegevaar is daarom een serieus probleem bij industriële productie. Gebruik van een fotobioreactor is dan vrijwel verplicht, getrapte productie (eerst in fotobioreactor, vervolgens in open vijvers) komt daarnaast ook voor. In de fotobioreactor vermeerderd de *Haematococcus* onder optimale omstandigheden voor de groei. Als voldoende vegetatieve cellen beschikbaar zijn, brengt men de teelt in stress: nutriëntengebrek, hoge temperatuur en veel licht, soms ook NaCl. Na 2 tot 3 dagen onder deze stress ontstaan haematocysten en start de productie van astaxanthine tot ongeveer 1,5-3 % van de oogstbare droge stof.

Porphiridium

Porphiridium-algen zijn zeealgen. Ze produceren bijzondere polysacchariden. Commerciële productie van deze alg is nog niet gestart, maar de producten zijn interessant genoeg. De productie van polysacchariden met *Porphiridium* heeft een voordeel boven de macro-algen, vanwege de snellere groei van de alg en de mogelijkheid van het regelen van de groei. *Porphiridium creuntum* is een van de rijkste bronnen van 'arachidonic acid' en 'eicosapentenoic acid (PUFA)'. De toepassing van producten uit deze alg zijn: antiviraal middel, onder andere tegen *Herpes simplex* type 1 en 2 en MSV-124, antioxidant (het in water oplosbare sulfaatpolysaccharide) en gel vergelijkbaar met agar en carrageenan. Er zijn geen carbohydrolases bekend, die de polysaccharides van *Porphiridium* kunnen afbreken, maar wel twee organismen: een mengsel van een bodembacterie en een dinoflagellaat. Dit betekent dat deze suikerverbindingen zeer bijzonder zijn. De productie van *Porphiridium* is tot nu toe alleen op pilotschaal gerealiseerd. De theoretische productie is 60 gr/m²/dag, De pilots komen niet hoger dan 30 gr/m²/dag. De oorzaak kan het oplopen van de viscositeit tijdens de teelt zijn. Tegelijk met het stijgen van de viscositeit neemt de bacteriënpopulatie af in de cultuur. De biomassa van *Porphiridium* bevat 33% koolhydraten en 34% eiwit.

Nannochloropsis

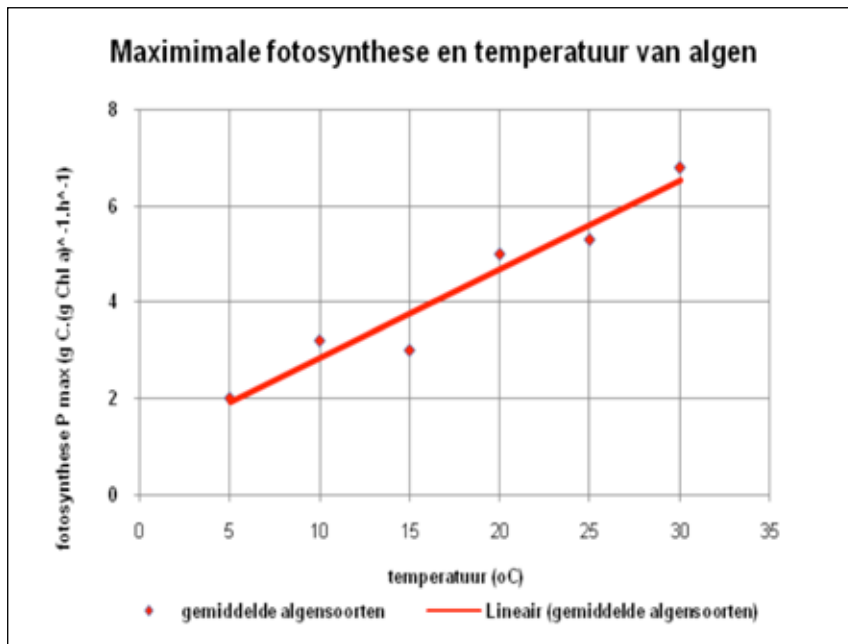
Nannochloropsis is een zeealg, vooral gekweekt voor visjongbroed van vis. *Nannochloropsis* wordt zowel in grote vijvers, polyethyleenzakken en glasvezelcilinders als in fotobioreactoren geteeld. De teelt in plasticzakken gebeurt vooral in kwekerijen voor visjongbroed. In Nederland kweekt Technogrow sinds oktober 2007 *Nannochloropsis*

in Made. Het systeem van Technogrow is een horizontale buizenreactor in een kas. De betonvloer verwarmt, de regeninstallatie koelt de omgeving. In de nacht en tijdens donkere periodes overdag gaat de assimilatieverlichting aan. *Nannochloropsis* uit de fotobioreactor levert tien keer zoveel op als algen uit open vijversystemen. In fotobioreactoren worden producties gevonden van 10-14,2 gr/m². *Nannochloropsis* kan in een open systeem makkelijk geïnfecteerd worden door een snellere groeier. De teelt in een fotobioreactor is dus onvermijdelijk. De kostprijs van de *Nannochloropsis* in een buiten geplaatste fotobioreactor ligt tussen 57-125 €/kg (berekend in 2001). Dit is laag vergeleken met de kosten die de kwekerijen van visjongbroed moeten maken voor hun teelt van *Nannochloropsis*.

De huidige verkoopprijs van gevriesdroogde *Nannochloropsis* is 400 €/kg; in een 10% drogestofoplossing 27,50 €/liter.

Soorten geschikt voor drainwater

Bezien vanuit de teeltvereisten komen van de hier beschreven soorten alleen *Chlorella* en *Arthrospira* in aanmerking. *Arthrospira* is op onze breedtegraad in het nadeel vanwege het hoge temperatuuroptimum. De samenstelling van *Arthrospira* geeft wel meer mogelijkheden in de



markt dan *Chlorella*. De trage groei van *Nannochloropsis* maakt de soort niet geschikt voor consumptie van grote hoeveelheden kunstmest. *Haematococcus* is alleen interessant in gebieden met veel zon en warmte. *Porphiridium* biedt op termijn perspectief in de buurt van de zee, waar ook veel brijn beschikbaar is. De teelt en de markt zijn er op dit moment nog niet klaar voor. Dit vraagt ontwikkelingswerk, zowel voor de teelt als de markt.

Humane en dierlijke consumptie

De chemische samenstelling van een algensoort varieert, net zoals dat bij hogere planten is vastgesteld. Voor een algemeen overzicht zijn enkele analyses van algen vergeleken met die van belangrijke humane voedingsmiddelen, zie Tabel 5.

Tabel 5: Algemene samenstelling van algen en verschillende menselijke voedingsbronnen (in % van de ds).

Product	eiwit	carbohydraten	lipiden
Bakkersgist	39	38	1
Vlees	43	1	34
Melk	26	38	28
Rijst	8	77	2
Sojaboon	37	30	20
Anabaena cylindrica	43-56	25-30	4-7
Chlamydomonas reinhardtii	48	17	21
Chlorella vulgaris	51-58	12-17	14-22
Cunaliella saliena	57	32	6
Porphyridium creuntum	28-39	40-57	9-14
Scenedesmus obliquus	50-56	10-17	12-14
Spirulina maxima	60-71	13-16	6-7
Synechococcus sp	63	15	11

In eerste instantie zijn algen gepromoot als rijke eiwitbron. Het gerapporteerde totaalgehalte aan ruw eiwit in algen is inderdaad hoog; we moeten er evenwel een percentage op in mindering brengen. Ongeveer 1/10 deel zijn andere stikstofhoudende stoffen zoals nucleïnezuuren, de celwand en dergelijke. Op dit moment beschouwt men het eiwitgehalte minder van belang voor het gebruik dan vijftig jaar geleden. De aminozuurcompositie van algen is vrijwel compleet, bij Chlorella ontbreken cystine en tryptofaan. Carbohydraten zijn in algen aanwezig in de vorm van zetmeel, cellulose, suikers en polysaccharides. De verteerbaarheid van de carbohydrates is over het algemeen goed, ook van de gedroogde microalgen.

De vetgehalte in algen varieert tussen 1 en 40%, met uitschieters naar 85% onder speciale omstandigheden. In Tabel 6 staat de verhouding waarin de verschillende vetten voorkomen in enkele algensoorten. Onder de commercieel belangrijke vetzuren zijn de essentiële meervoudig onverzadigde vetzuren:

- linolenic acid (18:2 ω 9, 12)
- α -linolenic acid (18:3 ω 6, 9, 12)
- dihom-linoleic acid (20:3 ω 8, 11, 14)
- arachidonic acid (20:4 ω 5, 8, 11, 14)
- eicosapentenoic acid (20:5 ω 5, 8, 11, 14, 17)

β -linolenic acid (β -linoleenzuur) wordt als effectief beschouwd voor het verlagen van het cholesterolniveau in bloed en is in gebruik als toevoeging aan het dieet voor de behandeling van verschillende ziekten. Aangezien dit vetzuur zeldzaam is in het normale voedselpatroon, wordt het aan verschillende voedingsmiddelen toegevoegd, zoals margarine. Vastgesteld is dat *Arthrospira* kan dienen als een waardevolle bron voor γ -linolenic zuur, aangezien 20-30 % van de vetzuren bestaat uit deze stof. In deze alg komt eveneens poly- β -hydroxybutyrate voor als vetreserve. De stof accumuleert gedurende exponentiële groei tot 6% van het droog gewicht.

	Arthrospira platensis	Arthrospira obliquus	Chlorella vulgaris	Dunaliella baddawii
Lauric acid (12:0)	0,04	0,3	-	-
Myristic acid (14:0)	0,7	0,6	0,9	-
Pentadecanoic acid (15:0)	sporen	-	1,6	-
Palmitic acid (16:0)	45,5	16	20,4	41,7
Palmitoleic acid (16:1)	9,6	8	5,8	7,3
Hexadecatetraenic acid (16:4)	-	26	-	3,7
Heptadecanoic acid (17:0)	0,3	-	15,3	2,9
Stearic acid (18:0)	1,3	0,3	15,3	2,9
Oleic acid (18:1)	3,8	8	6,6	8,8
Linoleic acid (18:2)	14,5	6	1,5	15,1
-Linolenic acid (18:3)	0,3	28	-	20,5
-Linolenic acid (18:3)	21,1	-	-	-
Eicosadienoic acid (20:2)	-	-	1,5	-
Eicosanotrienoic acid (20:3)	0,4	-	20,8	-
Anderen	-	2,5	19,6	-
Totaal	97,54	95,7	109,3	102,9

In de mariene alg *Porphyridium creuntum* kan 36% van de vetzuren uit 'arachidonic acid' bestaan; het aandeel loopt op tot 60% als de soort gekweekt wordt bij 16 °C. Sommige algenlipiden kunnen gebruikt worden als oppervlakreactieve stoffen. Het voordeel van deze detergenten is dat zij biologisch afbreekbaar zijn.

Tabel 6: Vetzuursamenstelling van de lipiden van verschillende algen.

Sommige essentiële onverzadigde vetzuren, die in algenlipiden worden gevonden, zijn farmaceutisch interessant. Het zijn voorlopers van prostaglandines, prostacyclines en leucotrienes. Deze stoffen winnen aan belang in de farmaceutische industrie. De economische situatie (van 2004) maakt de prijs van de algenoliën nog steeds niet concurrerend ten opzichte van visolie (14% eicosapentenoic acid en 12,4% decosahexaenoic acid) zalmolie (18% eicosapentenoic acid en 12% decosahexaenoic acid). Hoe de productiekosten uit algen op dit moment zijn samengesteld, is onduidelijk. In de huidige markt lijken zij geen rol te spelen; in een marktstudie van potentiële vetzuurproducenten komen algen wel voor.

Vrijwel alle belangrijke vitaminen komen in algen voor, zie Tabel 7. In Tabel 7 staan als referentie vermeld de aanbevolen dagelijkse inname, en naast algen ook de gehalten van lever, spinazie en bakkersgist.

De gehalten van vitaminen kunnen variëren ten gevolge van teeltomstandigheden. Daarnaast hebben de oogst en de droogmethode invloed op het vitaminegehalte. Dit geldt vooral voor de hitte-instabiele vitaminen B1, B2 C en nicotinic zuur. Hiervan neemt de concentratie aanzienlijk af gedurende het droogproces.

Een belangrijk pigment gewonnen uit algen is β -caroteen, als gesproeidroogd olie-extract afkomstig van *Dunaliella*. De toepassing van β -caroteen is zeer breed: het kleuren van voedsel, als toevoeging aan het voer voor het verbeteren van de kleur van kweekvis en van eigeel, en het verbeteren van de gezondheid en vruchtbaarheid van graanconsumerend vee. Daarnaast wordt het toegevoegd aan voedsel omdat het sommige vormen van kanker voorkomt door de werking als anti-

oxidant. Tot 1980 werd alle β -caroteen synthetisch verkregen. Sindsdien neemt het gebruik van natuurlijke β -caroteen gestaag toe. De productie uit algen is van betekenis op de wereldmarkt.

Bron	vit A	vit B1	vit B2	vit B6	vit B12	vit C	vit E	Nicotinate	biotin	foliumzuur	pantothenic zuur
adi (mg/d)	1,7	1,5	2,0	2,5	0,005	50,0	30,0	18,0	-	0,6	8,0
lever	60,0	6,0	29,0	7,0	0,7	310,0	10,0	136,0	1,0	2,9	73,0
spinazie	130,0	0,9	1,8	1,8	-	470,0	-	5,5	0,007	0,7	2,8
bakkersgist	sporen	7,1	16,5	21,0	-	sporen	112,0	4,0	5,0	53,0	
Arthrospira platensis	840,0	44,0	37,0	3,0	7,0	80,0	120,0	-	0,3	0,4	13,0
Aphanizomenon flos-aqua		4,8	57,3	11,1	8,0	0,7	-	0,1	0,3	1,0	6,8
Chlorella pyrenoidosa	480,0	10,0	36,0	23,0	-	-	-	240,0	0,2	-	20,0
Arthrospira quadricauda	554,0	11,5	27	-	1,1	396,0	-	108,0	-	-	46,0

Tabel 7: Vitaminegehalte van verschillende algen in vergelijking met conventionele voeding en de aanbevolen dagelijkse inname (adi), waarden in mg/kg ds

Voor een start in de algenteelt ligt de markt van visvoer of menselijk of dierlijk voedsel het meest voor de hand. De prijzen variëren tussen € 5 en € 20/kg. Zelfs € 30/kg wordt genoemd. Voor hoogwaardige menselijke voedingsmiddelen (nutraceuticals) gelden prijzen van € 100/kg. Het is onduidelijk onder welke voorwaarden deze markt producten uit een raceway accepteert.

Bijlage 2: Technische mogelijkheden van drainwater ten behoeve van algenteelt

De algenteelt in een raceway is in Nederland mogelijk. Gebruik van drainwater is daarbij goed toepasbaar. Het opstarten van een fotobio-reactor vraagt aanvullend ontwikkelingswerk. De ondervonden problemen bij het opschalen van fotobioreactoren sporen aan tot voorzichtigheid. In het kader van de drainwater-problemen is dat op dit moment nog een te riskante stap. Op dit moment is de algenraceway voor het consumeren van de nutriënten in drainwater de aangewezen werkwijze.

Verhouding tussen de oppervlakte algenteelt en glasteelt

De totale productie van een algenteelt is afhankelijk van de lichte-hoeveelheid en nutriëntenhoeveelheid. De productie van 1 ha algenteelt wordt op jaarbasis ingeschat op 25 ton/jr. De productie in de zomer is zes keer zo groot dan in de winter vanwege het lage lichtniveau, zie Tabel 8. Het stikstofverbruik varieert zodoende eveneens sterk. Het stikstofgehalte van de droge stof van algen is 9,5%. De stikstofconsumptie per oppervlakte-eenheid is door de lagere productie in de winter 16% van die in de zomer, zie Tabel 9.

zomer	ton/ha/jr	43,0
	kg/ha/dg	118
winter	ton/ha/jr	7
	kg/ha/dg	19
jaar	ton/ha/jr	25
	kg/ha/dg	69

Tabel 8: Maximum drogestofproductie algenvijver.

Het aanbod van drainwater varieert in de orde van 3 ltr tot maximaal 6 ltr/m². De productieverhouding van algen en drainwater sluit niet op elkaar aan. De oplossing kan bestaan uit: bijmesten in de zomer, zodat de oppervlakte maximaal wordt benut voor algenteelt en/of het opvoeren van de winterproductie.

De verhouding tussen glasoppervlak en algenteeltoppervlak hangt af van de hoeveelheid drainwater per ha per dag en de mestconcentratie. Voor de in de tabel aangegeven situatie is de verhouding berekend voor de zomer en de winter. De aanname is hierbij dat de hoeveelheid stikstof de drogestofproductie bepaalt. Uit de berekening volgt dat 1 ha algenvijver in de zomer het drainwater van 17 ha glas kan verwerken. In de winter moet de algenvijver twee keer zo groot zijn.

seizoen	gift	drain		EC drain	NO ₃	stikstof- verbruik	prod ds	opp. algenvijver
	l/m ² /dag	%	l/m ² /dag	mS/cm	mmol/l	kg/ha/dg	kg/ha/dg	ha
zomer	6,0	5	0,30	2,93	15,6	11,2	118	1,000
winter	2,0	5	0,10	2,93	15,6	1,8	19	2,049
oppervlak glas						17,09	ha	

Tabel 9: Samenhang drainwaterproductie en oppervlakte algenvijver.

Optimaliseren teelt

Tabel 10: Energiebalans vijver 1 ha.

		jan
invoervolume	m ³	8,3
invoertemperatuur	°C	5
teelttemperatuur	°C	12
buitentemperatuur	°C	2
grondtemperatuur	°C	10
K waarde dek	W/m ² /°C	3
K waarde grond	W/m ² /°C	1
opwarmen water	MJ/dag	58
afkoelen dek	MJ/dag	25920
afkoelen bodem	MJ/dag	1728
beschikbare zonne-energie	MJ/dag	18960
beschikbare rest droogproces	MJ/dag	1329
netto toevoeren	MJ/dag	7417
rendement zonne-energie	%	80
rendement stook verwarming	%	90
benodigde hvh gas	m ³	262
hele maand	m ³	8110
gaskosten/mnd	€	2920
energie-inhoud gas	MJ/m ³	31,5
gasprijs	€/m ³	0,36
product	kg/dag	19
product	kg/mnd	589
energiekosten product	€/kg	4,96

De raceway-systemen die nu functioneren, gebruiken geen overkapping of bijverwarming. Verwacht mag worden dat de productie in de winter door overkapping aanmerkelijk verbetert. Inzicht in het verband tussen product, temperatuur en licht is wel nodig. De ener-

giekosten stijgen snel als de temperatuur onder het dek wordt verhoogd. Een energiescherm in de nacht is noodzakelijk. Met het gebruik van een overkapping kan ook de CO₂ beter in het systeem gehouden worden. Een gesloten dek maakt zowel in de winter als in de zomer een betere regeling van de temperatuur en CO₂ mogelijk. De te gebruiken grondisolatie is op dit moment niet onderzocht.

In de tabel staat de energiebalans van een overdekte vijver weergegeven. De energiekosten per eenheid product komen hoog uit bij de huidige gasprijs. Het belang van isolatie van het dek in de nacht is overduidelijk en verbetering op dit punt is belangrijk. In de berekening is uitgegaan van een constante temperatuur gedurende 24 uur. Alleen verwarmen overdag tijdens voldoende licht zal een aanzienlijk gunstiger resultaat geven dan zonder. Door het beperkt dalen van de temperatuur onder het dek verliest de vijver minder energie.

De huidige algenteelt in Nederland vindt plaats in de open lucht. De teelt ondervindt nadeel door de afwezigheid van regelsystemen voor de temperatuur en de CO₂, zowel in de zomer als in de winter.

Het inschatten van het temperatuurvoordeel op de productie onder praktijkomstandigheden kan op dit moment alleen op basis van bestaande laboratoriumstudies. Daaruit blijkt dat de maximale fotosynthese flink stijgt onder invloed van de temperatuur.

Bijlage 3:

Drainage Sustainable

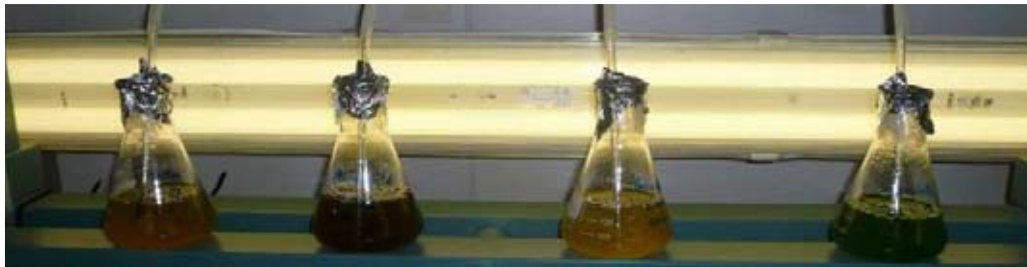
Profit

Fase 2: laboratorium-
experimenten betreffende de
benutting van drainwater
voor het kweken van algen
voor oesterteelt

Draining Sustainable Profit Fase 2:
laboratoriumexperimenten
betreffende benutting van drainwater
voor het kweken van algen voor
oesterteelt

Pauline Kamermans, Ainhoa Blanco & Emiel Brummelhuis

Rapport C021/09



Institute for Marine Resources and Ecosystem Studies

Wageningen **IMARES**

Vestiging Yerseke

Opdrachtgever: Stichting H2Organic
Groeneweg 28
2691 MP 's Gravenzande

Publicatiedatum: maart 2009

- Wageningen **IMARES** levert kennis die nodig is voor het duurzaam beschermen, oogsten en ruimte gebruik van zee- en zilte kustgebieden (Marine Living Resource Management).
- Wageningen **IMARES** is daarin de kennispartner voor overheden, bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties voor wie marine living resources van belang zijn.
- Wageningen **IMARES** doet daarvoor strategisch en toegepast ecologisch onderzoek in perspectief van ecologische en economische ontwikkelingen.

© 2007 Wageningen **IMARES**

Wageningen IMARES is een samenwerkingsverband tussen Wageningen UR en TNO. Wij zijn geregistreerd in het Handelsregister Amsterdam nr. 34135929, BTW nr. NL 811383696B04.



A_4_3_1-V5

De Directie van Wageningen IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen IMARES; opdrachtgever vrijwaart Wageningen IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Samenvatting	4
1. Inleiding.....	6
2. Kennisvraag.....	8
3. Methoden	9
3.1. Laboratoriumschaal kweek algensoorten	9
3.1.1. Analyse waterkwaliteit drainwater	9
3.1.2. Bepaling geschiktheid drainwater voor algengroei	9
3.1.3. Bepaling groei algen en opname nutriënten.....	10
3.2. Voedingsproef oesters	10
3.2.1. Proef opstelling	10
3.2.2. Voedseltoediening en monitoring waterkwaliteit	12
3.2.3. Analyse voedingswaarde algen.....	12
3.2.4. Bepaling voedselopname en groei oesters.....	13
4. Resultaten en discussie.....	14
4.1. Laboratoriumschaal kweek algensoorten	14
4.1.1. Waterkwaliteit drainwater	14
4.1.2. Groei algen	18
4.1.3. Groei algen en opname nutriënten	23
4.2. Voedingsproef oesters	27
4.2.1. Waterkwaliteit	27
4.2.2. Voedingswaarde algen	27
4.2.3. Voedselopname en groei oesters	28
4. Conclusies en aanbevelingen.....	33
5.1. Geschiktheid drainwater voor algengroei	33
5.2. Opname nutriënten uit drainwater door groei algen.....	34
5.3. Groei oesters op in drainwater gekweekte algen	34
5. Kwaliteitsborging	36
Referenties	37
Verantwoording	39

Samenvatting

Drainwater dat vrij komt in de glastuinbouw bevat zouten en voedingsstoffen die bij lozing een belasting op de watersystemen geven, hetgeen lozingsheffingen met zich meebrengt en waardoor tevens waardevolle nutriënten verloren gaan. De uitdaging van het reduceren van de milieubelasting ligt in het hergebruiken van de nutriënten, waardoor een kostenpost kan worden omgezet in een renderende reststroom. Het (beperkte) zoutgehalte (3 promille of in geconcentreerde vorm 12 promille) van het drainwater maakt het water mogelijk geschikt voor de kweek van brakwater (en adaptieve mariene) algensoorten. Hierdoor worden waardevolle nutriënten onttrokken en wordt de anorganische belasting van het drainwater lager. Het gekweekte algenproduct kan geschikt zijn voor een aanvullende teelt van een aquacultuurproduct zoals schelpdieren, deze kunnen aan elkaar gekoppeld worden. Aangezien dergelijke mogelijkheden nieuw zijn, bestaan er nog een aantal onbekende factoren, zoals het selecteren van geschikte soorten algen voor kweek, de voedingswaarde van de oester en voedselveiligheidsrisico's. Deze parameters zijn aan de hand van een desk studie (Fase 1) gekoppeld aan laboratorium experimenten (Fase 2) onderzocht.

Dit is het tweede deel van de studie naar de mogelijkheden voor benutting van drainwater uit de glastuinbouw voor het kweken van algen gekoppeld aan een oesterteelt. In een dergelijke combinatie wordt de milieubelasting gereduceerd door hergebruik van nutriënten uit drainwater en ontstaat tegelijkertijd een mogelijkheid voor het telen van oesters op het land. De hoofdvragen zijn: (1) kunnen algen gekweekt worden met drainwater als nutriënten bron, (2) hoeveel nutriënten worden onttrokken aan het drainwater door de algenteelt en (3) kunnen oesters gekweekt worden met de geproduceerde algen?

De geschiktheid van drainwater voor algengroei is getest in het laboratorium voor vier van de zes in het eerste deel van de studie (deskstudie) geselecteerde algensoorten: *Brachiomonas submarina*, *Chaetoceros muelleri*, *Thalassiosira pseudonana* en *Dunaliella tertiolecta*. De twee andere soorten waren of in slechte conditie aangeleverd door de cultuurbibliotheek (*Skeletonema subsalsum*) of konden gedurende het project niet worden verkregen (*Chlamydomonas pulsatilla*). Daarnaast is *Phaeodactylum tricornutum* later aan de selectie toegevoegd en *Micractinium* sp. spontaan gaan groeien in drainwater. Alle soorten groeiden in 100 ml met een voorbehandeling van het drainwater in de vorm van filtreren in combinatie met steriliseren en toevoegen van vitamines. Opschaling van de cultuur naar 2500 ml was alleen mogelijk voor *Phaeodactylum tricornutum* en *Micractinium* sp. Een quick scan van de literatuur over kweekmedia die over het algemeen worden toegepast voor de teelt van de geselecteerde soorten toonde dat drainwater geen kobalt bevat en dat silicaat en fosfaat, ijzer en mangaan relatief minder aanwezig zijn. Vervolg experimenten liet zien dat de vier geselecteerde soorten bij overentent gebrek kregen aan een bepaalde stof die wel in het standaard medium (Walne) aanwezig is, maar niet in drainwater.

De opname van nutriënten uit het drainwater door groei van algen is getest met culturen van *Micractinium* sp. en *Phaeodactylum tricornutum*. Deze lieten een afname in fosfaatgehalte zien, maar niet in stikstofgehalte. Er is vooralsnog geen sluitende verklaring voor het uitblijven van een afname in stikstof concentratie. Aanvullende experimenten zijn nodig waarin wordt onderzocht welke meststoffen in het drainwater beperkend zijn voor volledige uitputting van stikstof.

De groei van oesters op in drainwater gekweekte algen is getest met de spontaan ontstane algensoort *Micractinium* vergeleken met een standaard dieet voor oesters. De voedingswaarde van *Micractinium* is laag voor oesters. Dit blijkt uit lage gehalten van de vetzuren EPA en DHA, het nog intact zijn van de algencellen na passage door de darmen en een mindere groei van de oesters dan op het standaard dieet. De op drainwater kweekbare algensoort *Micractinium* geeft wel groei van oesters, maar niet met de gewenste efficiëntie.

Aanvullende experimenten waarin het effect van het toevoegen van nu ontbrekende stoffen (zoals kobalt, nikkel, cadmium en seleen) aan het drainwater wordt onderzocht zijn nodig om een eindoordeel te kunnen vormen over de geschiktheid van drainwater voor de groei geselecteerde algensoorten met als doel de uitputting van stikstof en fosfaat en voedselproductie voor platte oesters. Indien deze experimenten succesvol verlopen levert dit perspectief voor de teelt van oesters op het land in combinatie met zuivering van drainwater uit de glastuinbouw.

1. Inleiding

In de glastuinbouw bestaat een wettelijk voorschrift over wateropslag, watergebruik en wateremissie, zowel bij in de grond geteelde – als op substraat geteelde gewassen. Een groot aantal bedrijven zonder voldoende opslag past het gebruik van omgekeerde osmose apparatuur toe. De reststroom afvalwater (brijn) pompt men terug in de bodem. In de toekomst vervalt die mogelijkheid. Daarnaast is het spuien/lozen van drainwater (proces water dat uit het substraat loopt) op het oppervlaktewater uit bemestings- en hygiëneogpunt niet wenselijk. Dit is eveneens ontoelaatbaar in de toekomst. Het drainwater en het brijn bevatten zouten en voedingsstoffen die bij lozing een belasting op de watersystemen geven, hetgeen lozingsheffingen met zich meebrengt en waardoor tevens waardevolle nutriënten verloren gaan. Het geloosde volume van drainwater in de tuinbouw is momenteel onbekend.

Vanuit het waterbeheer is het wenselijk de lozing volledig te stoppen, het is echter niet mogelijk het volume tot nul terug te brengen. De uitdaging van het reduceren van de milieubelasting ligt dan ook in het hergebruiken van de nutriënten, waardoor een kostenpost kan worden omgezet in een renderende reststroom. Verzamelen van reststromen en centraal verwerken kan de uitstoot van drainwater tot “nul” terug brengen. In het Westland is een aantal Centrale Afvoer voor Drainage en tuinbouw afvalwater (CAD) systemen aangelegd. In het oppervlakte water komen dan geen overtollige meststoffen en andere restproducten meer uit de glastuinbouw terecht. Door het bijeenbrengen van een groot volume drainwater komen grootschalige technieken in beeld voor het zuiveren van het drainwater. Op dit moment zijn dat invangen van slib, voorzuiveren en ontzouten. De zoutrest + water bevat de stikstof, sulfaat en fosfaat en andere mineralen. Als stikstof, sulfaat en fosfaat zijn verwijderd en geen resten van bestrijdingsmiddelen aanwezig zijn, is het water geschikt voor lozen op zee.

Het (beperkte) zoutgehalte (3 promille of in geconcentreerde vorm 12 promille) van het drainwater maakt het water mogelijk geschikt voor de kweek van brakwater (en adaptieve mariene) algensoorten. Hierdoor worden waardevolle nutriënten onttrokken en wordt de anorganische belasting van het drainwater lager. Het gekweekte algenproduct kan geschikt zijn voor een aanvullende teelt van een aquacultuurproduct zoals schelpdieren, deze kunnen aan elkaar gekoppeld worden. Aquacultuur is een gestaag groeiende bedrijfstak. De jaarlijkse globale groei van de aquacultuur is omstreeks 11 %. Dit is veel, vooral vergeleken met de globale jaarlijkse toename van de vleesproductie die 3 % is. De redenen hiervoor zijn o.a. de groeiende vraag naar dierlijk eiwit, toenemende vraag naar aquacultuurproducten, technologische doorbraken, stagnerende opbrengst van de visserij en de gunstige bijdrage aan de gezondheid. Globaal is 30 % van de mondiale productie van de vis, schaal en schelpdieren afkomstig van aquacultuur, in 2030 verwacht men een aandeel van 50 %. De visteelt is een van de snelst groeiende voedselproducerende sectoren in de wereld.

Als aquacultuurproduct is de platte oester een interessante soort. De productie van platte oesters (*Ostrea edulis*) in de Nederlandse buitenwateren is teruggelopen van 1992 tot 2003 tot 1,5 mln stuks, met name door het

voorkomen van een oesterziekte genaamd *Bonamia*. De vraag naar de platte oester is groter dan het huidige aanbod. Door het kweken van platte oesters (vanaf zaad) in een *Bonamiae*vrije omgeving krijgt de oester geen kans om *Bonamia* te ontwikkelen, waardoor een volwaardig kwaliteitsproduct geleverd kan worden. Echter, omdat er gewerkt wordt met een nieuwe kweekmethode is het van groot belang dat de voedselveiligheidsrisico's voldoende worden belicht. Er wordt voor oester immers met grondstoffen (drainwater) gewerkt die andere risico's met zich mee kunnen brengen dan in de gangbare kweek beschikbaar zijn, b.v. de aanwezigheid van bestrijdingsmiddelen. Aangezien dergelijke mogelijkheden nieuw zijn, bestaan er nog een aantal onbekende factoren, zoals het selecteren van geschikte soorten algen voor kweek, de voedingswaarde van de oester en voedselveiligheidsrisico's. Deze parameters zijn aan de hand van een desk studie (Fase 1) gevolgd door laboratorium experimenten (Fase 2) onderzocht. De huidige rapportage betreft Fase 2, de laboratorium experimenten. Hieronder worden de resultaten van Fase 1 samengevat.

In Fase 1 is de selectie van algensoorten die kweekbaar zijn op drainwater en geschikt zijn als voer voor oesters op basis van literatuur onderzoek uitgevoerd. De selectie van de algensoorten gebaseerd op de saliniteit van het drainwater, gebruik in aquacultuur, voedingswaarde, grootte, dikte celwand en beschikbaarheid in een algenbibliotheek heeft zes potentiële soorten opgeleverd: *Skeletonema subsalsum*, *Brachiomonas submarina*, *Chaetoceros muelleri*, *Thalassiosira pseudonana*, *Chlamydomonas pulsatilla* en *Dunaliella tertiolecta*. Daarnaast is een inschatting gemaakt van de productiepotentie van algenkweek en oesterkweek op basis van drainwater. Het drainwater bevat een overmaat aan alle nutriënten die in een regulier kweekmedium aanwezig zijn. De productie potentie van de geselecteerde algen soorten in de kas hangt sterk af van de omstandigheden aldaar en zal proefondervindelijk moeten worden vastgesteld. De algen kunnen potentieel de nutriënten uit het drainwater verwijderen, omdat ook de verhouding tussen de verschillende componenten gunstig lijkt. Concentratie van drainwater niet nodig. Opname van de nutriënten in verschillende stappen lijkt een optie. Dat houdt in algen laten groeien en oogsten en het medium opnieuw gebruiken voor een tweede productie, enzovoort tot de nutriënten limiterend worden. Drie van de geselecteerde algensoorten worden al gebruikt in schelpdier hatcheries (*Chaetoceros muelleri*, *Thalassiosira pseudonana* en *Dunaliella tertiolecta*). De andere drie soorten lijken ook geschikt als voer voor oesters. Dit betekent dat, als de algensoorten succesvol in drainwater gekweekt kunnen worden, de productie van oesters ook succesvol kan zijn. En tenslotte is aandacht besteed aan de risico's voor de voedselveiligheid aan de hand van gegevens over de aanwezigheid van bestrijdingsmiddelen in het drainwater. Momenteel is nog weinig bekend over aanwezigheid van toxische stoffen in drainwater. In een pilot project is het raadzaam mogelijke accumulatie van gewasbeschermingsmiddelen, zware metalen, metaalsporen, PCB en dioxinen in oesters en effecten op de gezondheid bij de waargenomen gehalten te monitoren.

De resultaten van de deskstudie en de experimenten geven inzicht over de potentie voor algen- en oesterkweek op basis van drainwater in de praktijk. Inmiddels is ook bekend dat een pilot project zal worden gestart waarbij de integratie van fase 1 en 2 zal plaatsvinden met een test in de praktijk.

2. Kennisvraag

Het doel van dit verkennende project is een studie uit te voeren naar de mogelijkheden voor benutting van drainwater voor het kweken van algen gekoppeld aan een oesterteelt. De hoofdvragen zijn:

1. Kunnen algen gekweekt worden met drainwater als nutriënten bron?
2. Hoeveel nutriënten worden onttrokken aan het drainwater?
3. Kunnen oesters gekweekt worden met de geproduceerde algen?

In Fase 2 is de kweek van de in Fase 1 geselecteerde algen soorten getest op basis van en lokale omstandigheden. De algensoorten zijn op laboratoriumschaal gekweekt. Daarnaast is een analyse van de voedingswaarde van de algen uitgevoerd. Ook is een voedingsproef met oesters uitgevoerd.

3. Methoden

3.1. Laboratoriumschaal kweek algensoorten

3.1.1. Analyse waterkwaliteit drainwater

Op 16 mei 2008 is drainwater door H2Organic bezorgd bij IMARES. Het ging om drainwater van de volgende gewassen: gerbera, komkommer, tomaat, roos en paprika, steeds 25 liter per soort. Op 11 november 2008 is een tweede batch drainwater door H2Organic bezorgd bij IMARES. Dit maal ging het om gerbera, roos en paprika (25 liter) en tomaat (50 liter). Er is steeds een mengsel gemaakt van de verschillende soorten drainwater. Een aantal maal is in een experiment extra silicaat toegevoegd aan het drainwater om het medium geschikter te maken voor de groei van diatomeeën. De kwaliteit van het gemengde drainwater is op verschillende tijdstippen geanalyseerd. Een maal is een monster uitbesteed aan SGS voor de volgende parameters K, Na, Mg, NO₃, Cl, SO₄, P, Si, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo. Twee maal aan Blgg voor de volgende parameters: NH₄, K, Na, Ca, Mg, NO₃, Cl, S, HCO₃, P, Si, Fe, Mn, Zn, B, Cu, Mo, pH en EC. Daarnaast is vier maal een monster bij IMARES geanalyseerd. P-PO₄, N-NH₄, N-NO₃, N-NO₂ en Si werden bepaald met behulp van een HACH DR/890 Colorimeter), pH met een Hach HQd Field case Cat. no. 58357-000) en zoutgehalte met HQ14d conductivity meter van Hach.

3.1.2. Bepaling geschiktheid drainwater voor algengroei

De geselecteerde algensoorten waren als stock aanwezig bij IMARES (*Dunaliella tertiolecta*, *Chaetoceros muelleri*, *Brachiomonas submarina*, *Thalassiosira pseudonana* en *Phaeodactylum tricornutum*) of zijn aangekocht bij CCAP (*Skeletonema subsalsum*). Het is niet gelukt een cultuurbibliotheek te vinden die *Chlamydomonas pulsatilla* kon leveren. Alle soorten zijn in drainwater gekweekt in volumes van 30 ml weefselkweekfles (W/K fles) en 100 ml W/K fles, 250 ml erlenmeyers en 2500 ml erlenmeyers. Het drainwater is direct getest, maar ook gefiltreerd (over 1 µm), en gesteriliseerd door toevoeging van 1 ml chloor per liter en neutralisatie van het chloor na 24 uur door toevoeging van 0.05 mg thiosulfaat per liter. Er werd steeds een maximaal 7 dagen oude cultuur gebruikt om een nieuwe cultuur te starten (3-30 % van het volume). Wanneer de cultuur kleur kreeg werd gecheckt of de juiste soort was gaan groeien. Als dat het geval was werd de behandeling als succesvol aangemerkt. In de andere gevallen (geen groei, of groei van een andere soort) was de behandeling niet succesvol. De volgende behandelingen zijn uitgetest:

- Verschillende volumes (30 ml en 100 ml, 250 ml en 2500 ml)
- Drainwater direct
- Drainwater filtreren
- Drainwater steriliseren

- Toevoegen vitaminen aan het drainwater
- Toevoegen van silicium aan het drainwater
- Verhogen zoutgehalte van het drainwater tot 5 ‰
- Zwenken van de cultuur ipv doorborrelen
- Plastic kweekvat ipv glas
- Enten uit drainwater of uit Walne
- Mixen van drainwater en Walne

Alle soorten zijn ter controle ook in standaard Walne medium gekweekt.

3.1.3. Bepaling groei algen en opname nutriënten

Van twee algensoorten is bepaald hoe snel de algen konden groeien op drainwater en wat de nutriëntenuitputting was op het moment van hoogste algendichtheid. Hiertoe zijn twee glazen 2500 ml erlenmeyers gevuld met gefiltreerd en gesteriliseerd drainwater met toegevoegde vitaminen en 200 ml entmateriaal uit twee 100 ml W/K flessen.

Dagelijks werden de algen geteld met behulp van een microscoop en een telglaasje (hemacytometer). Daarnaast werd 25 of 50 ml (afhankelijk van de dichtheid van de cultuur) gefiltreerd op een voorgewogen Whatman GF/C filter. Het gefiltreerde water werd ingevroren bij $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ voor latere wateranalyses. Ook werd 25 of 50 ml drainwater gefiltreerd als blanco. De filters werden voor een periode van minimal 24 uur bij $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ gedroogd. Na 24 uur werden de filters gewogen. Het droog gewicht per algen cel werd dan berekend met de volgende formule: $DW(\text{pg/cell}) = [(DW_A - DW_B) / (N \cdot V)] \cdot 10^{12}$. Hierin is DW_A = droog gewicht algen filter; DW_B = droog gewicht blanco filter, N = cel dichtheid (cellen/ml) en V = volume van de gefiltreerde algencultuur of drainwater.

Na ontdoeien van de watermonsters werd P-PO₄, N-NH₄+N-NO₃+N-NO₂ en Si bepaald met behulp van een HACH DR/890 Colorimeter), pH met een Hach HQd Field case Cat. no. 58357-000) en zoutgehalte met HQ14d conductivity meter van Hach. Protocollen voor het gebruik van de Hach-kit, pH meter, zoutgehalte meter, het tellen van algencellen en het maken van Walne medium zijn aanwezig bij IMARES.

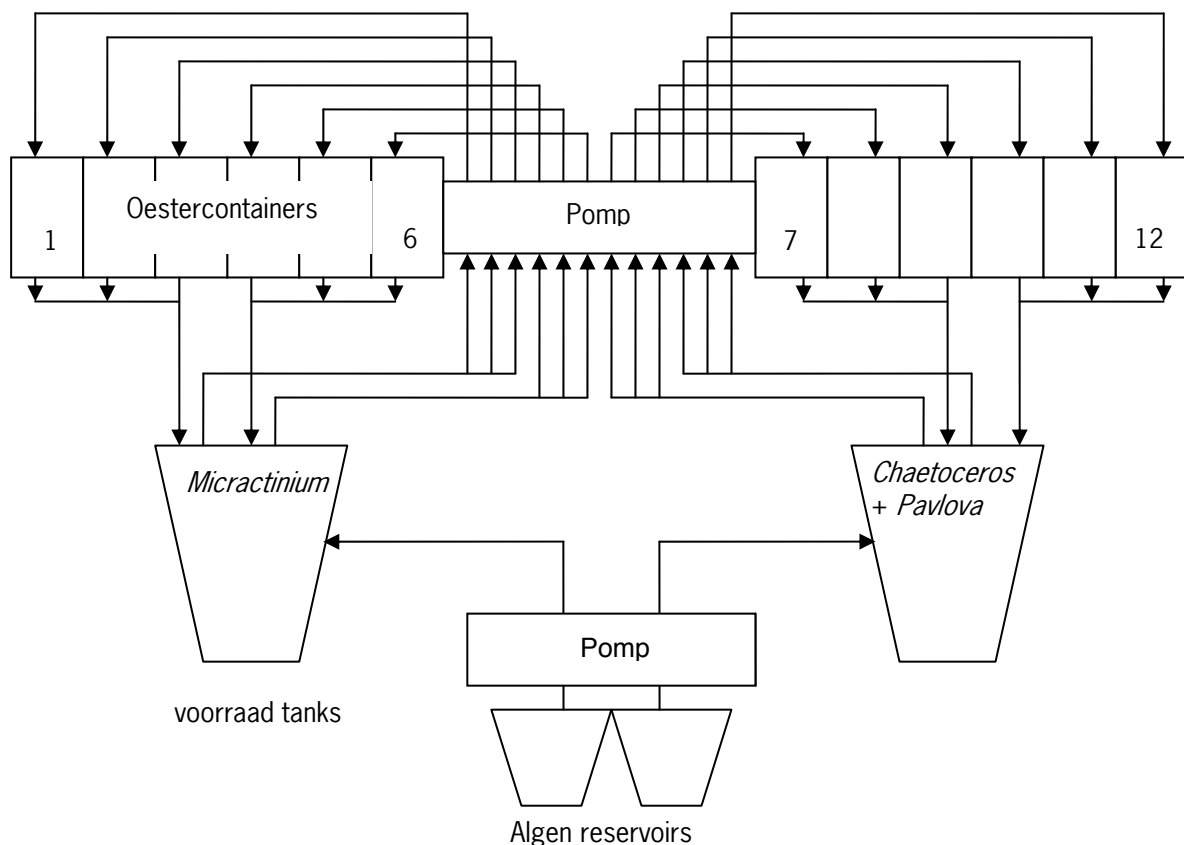
3.2. Voedingsproef oesters

3.2.1. Proef opstelling

Zoals in 4.1 wordt gepresenterd zijn *Micractinium* en *Phaeodactylum* de twee algensoorten die op drainwater gekweekt konden worden in 2500 ml. *Phaeodactylum* vormde echter klonten en dat maakte de cultuur ongeschikt als voer voor oesters. Daarom is alleen de voedingswaarde van *Micractinium* getest voor oesters.

Deze soort is vergeleken met een standaard dieet. Het systeem bestond uit 2 groepen van 6 containers, volume ca. 400 ml (Fig. 1). Elke container bevatte 1 platte oester. Container 1 tm 6 kreeg als dieet *Micractinium*, 7 tm 12 dienden als controle en kreeg een mengsel van *Pavlova lutheri* en *Chaetoceros calcitrans* waarvan bekend is dat dit een dieet is waar schelpdieren goed op groeien (Helm et al, 2004). Elke container werd continue doorstroomd (ca. 48ml/min) met zeewater (over 1 µm gefiltreerd Oosterscheldewater) vanuit een voorraad tank met behulp van een peristaltische pomp (Watson Marlow 520U, U.K.). De door de oesters opgenomen algen werden vanuit een reservoir tank aangevuld met behulp van een 2de pomp (Watson Marlow 520S, U.K.). De voorraad tanks werden belucht om uitzakken van algen te voorkomen. Om de 2 a 3 dagen werd de algenhoeveelheid in de reservoir tank aangevuld. Twee keer per week zijn de voorraad tanks voor de helft verversd. Vlak voor het verversen werden de algenconcentraties in de voorraad tanks bepaald.

De oesters zijn afkomstig uit het Grevelingenmeer en zijn enkele weken verwaterd in stromend Oosterscheldewater. *Chaetoceros* en *Pavlova* werden gekweekt op Walne medium en *Micractinium* op drainwater.



Figuur 1. Proefopstelling voedingsproef oesters.

3.2.2. Voedseltoediening en monitoring waterkwaliteit

De groeiproef is op 3 november gestart en op 28 november beëindigd. Om te weten hoeveel algen toegevoegd moeten worden is voorafgaand aan de groeiproef gekeken naar de snelheid waarmee de oesters algen opnemen. Hiertoe is de concentratie van de algen aan het begin en aan het einde van een filtratieperiode geteld (tabel 1). Bij deze proef ging het om de opname van cellen en was de beginconcentratie van ondergeschikt belang zolang. Er werd bij beide diëten er geen pseudofeces geproduceerd.

Tabel 1. Resultaten van algenopname proef.

per ml	<i>Micractinium</i>	<i>Pav. + Chaet.</i>
aantal cellen begin	222222	52083
aantal cellen eind	177083	17361
weggefilterd per ml na 3 uur	45139	34722
weggefilterd per totaal volume van 18000 ml	$812.5 \cdot 10^6$	$625 \cdot 10^6$
per dag toe te voegen algen cellen	$6500 \cdot 10^6$	$5000 \cdot 10^6$

In de groeiproef is gestreefd naar een algendichtheid in het voorraadvat van ca. 50.000 cellen/ml. De pomp voor de algentoevoeging draaide met een constante snelheid zodat per dag een vast volume in het voorraadvat werd gepompt. De algen werden voor toedienen in het reservoir geteld en aangevuld met gefiltreerd zeewater tot het benodigde volume.

Eens per week is, voor het verversen, de waterkwaliteit gemeten. Hierbij zijn de volgende parameters bepaald:

- NO₂ met een kolorimetrische test van Merck (gevoeligheid 0.05-1 mg/l NO₂-)
- NH₄ idem (gevoeligheid 0.5-10 mg/l NH₄+)
- zuurstof met de HQ40d multimeter van Hach
- zoutgehalte met de HQ14d conductivity meter van Hach.

3.2.3. Analyse voedingswaarde algen

De voedingswaarde van de algen is bepaald aan de hand van de voedselopname en groei van de oesters zoals beschreven onder 3.2.4. Daarnaast kunnen ook metingen aan de algen zelf worden verricht. Een veelgebruikte maat voor voedingswaarde van algen voor schelpdieren is het gehalte aan onverzadigde vetzuren. De belangrijkste vetzuren zijn EPA (20:5 ω 3) en DHA (22:6 ω 3), omdat dit vetzuren zijn die de dieren zelf niet kunnen maken, wat ze afhankelijk maakt van hun voedselbron (Helm et al, 2004). De algen die aan de oesters werden gevoerd tijdens de groeiproef zijn op 21 november 2008 bemonsterd voor vetzuurgehaltes. Per soort is 20 ml gefiltreerd over een voorgegloeide (4 uur bij 450 °C) Whatman GF/F filter. Daarna is de concentratie aan vetzuren door het NIOO bepaald met behulp van een gaschromatograaf. Per vetzuur is de concentratie uitgedrukt in μ g per l cultuur. Vervolgens is gehalte EPA en DHA berekend als percentage van het totale gehalte.

Ook het gewicht van de algen is bepaald. Naast drooggewicht (zie 3.1.3) is ook het as-vrij drooggewicht bepaald door de filter 4 uur bij 450 °C te verassen in een moffeloven en opnieuw te wegen.

3.2.4. Bepaling voedselopname en groei oesters

Bij ieder moment van voeren en bij iedere verversing van het water is het aantal algencellen in het water geteld volgens de methode die onder 3.1.3 is beschreven. Door het aantal cellen in het water direct voor verversing af te trekken van het aantal cellen dat bij de laatste verversing was toegediend is het aantal opgenomen cellen bepaald. Dit is vervolgens omgerekend naar as-vrij drooggewicht. Het ADW is op 21 november bepaald.

Voor de oestergroei zijn de volgende parameters bepaald: voor en tijdens de proef natgewicht (WW) en oppervlak en aan eind van de proef droog- (DW) en asvrij droog-gewicht (ADW) van vlees en schelp. Het natgewicht is bepaald, direct vanuit het water, na droogdeppen. Het oppervlak is bepaald in mm² door het maken van een foto en de contouren in een imageanalyse programma (Leica Qwin) met de hand in te tekenen en hiervan het oppervlak te bepalen. Voor het droog- en as-gewicht is het vlees uit de schelp verwijderd en apart gedroogd en verast. Het droog gewicht is bepaald na 2 dagen in een droogstoof bij 70 °C en afkoelen in een exicator. Voor het as-gewicht is het materiaal nog eens 2 uur in een moffeloven verast bij 540 °C.

4. Resultaten en discussie

4.1. Laboratoriumschaal kweek algensoorten

4.1.1. Waterkwaliteit drainwater

Het drainwater toont fluctuaties in de kwaliteit, maar de waarden zijn over het algemeen in dezelfde orde van grootte als de door H2Organic opgegeven gemiddelde waarden (Tabel 2). Opvallend zijn de verschillen in resultaten zoals gevonden door SGS en Blgg. SGS vindt een veel lagere concentratie aan NO₃ en een hogere concentratie aan SO₄ en P. Deze waarden vallen buiten de marges die werden verwacht en werden door de andere analyses niet ondersteund en zijn daarom niet in de beoordeling van de waterkwaliteit meegenomen. Het effect het toevoegen van silicaat aan het drainwater is onverwacht. Het leidt meestal niet tot een verhoging van het silicaatgehalte, maar wel van het Na gehalte. De vorm waarin Si werd toegevoegd was NaSiO₃·9H₂O. Dit verklaart de toename aan Na. Toevoegen van silicaat veroorzaakt zelfs een verlaging van de gehalten aan P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn. Er werd een neerslag gevormd wat een verklaring kan zijn voor de concentratieverlaging van een aantal elementen. Door de oplossing aan te zuren en daarna weer basisch te maken tijdens het toevoegen van silicaat had het vormen van een neerslag waarschijnlijk voorkomen kunnen worden.

Tabel 2. Resultaten van de analyse van drainwater op verschillende tijdstippen en door verschillende bedrijven.

	datum 2008	geen	30-Jun	11-Aug	11-Aug	18-Aug	26-Aug	26-Aug	28-Aug	28-Aug	8-Dec
	bedrijf	opgave H2Organic	IMARES	SGS	SGS	IMARES	IMARES	IMARES	Blgg	Blgg	Blgg
parameter	behandeling	geen	geen	met Si	geen	geen	met Si	geen	met Si	geen	geen
NH ₄	mmol/l	0.05							0.1	0.1	<0.1
K	mmol/l	6.6		5.1	5.6				6.4	6.8	4.1
Na	mmol/l	2.0		13.0	3.2				15.7	3.4	2.0
Ca	mmol/l	7.5							5.2	8.1	3.8
Mg	mmol/l	3.3		0.1	3.6				0.1	3.9	2.2
NO ₃	mmol/l	15.6	13.9	2.9	0.6	4.9			18.2	19.5	12.0
Cl	mmol/l	3.7		2.6	2.8				2.7	3.0	1.8
SO ₄	mmol/l	4.1		14.7	15.6				4.2	4.4	2.3
HCO ₃	mmol/l								0.5	0.3	0.1
P	mmol/l	1.00	3.94	0.03	11.94				0.04	1.16	0.86
Si	mmol/l	1.66	0.59	0.54	0.57		2.32	1.64	0.48	0.53	0.37
Fe	umol/l	24.5		2.3	28.6				2.2	25.0	14.0
Mn	umol/l	5.4		<0.18	4.0				0.5	3.8	1.7
Zn	umol/l	6.1		2.3	5.6				2.5	5.4	3.7
B	umol/l	49							117	95	34
Cu	umol/l	1.0		1.6	1.9				2.3	2.4	1.9
Mo	umol/l	0.9		0.7	0.8				0.8	0.8	2.7
pH		5.5					9.3	6.8	9.2	6.6	6.5
zoutgehalte	‰	3.1					1.5	1.6	3.4	3.6	2.4

4.1.2. Geschiktheid drainwater voor algengroei

De resultaten van de behandelingen zijn weergegeven in tabel 3 en figuur 2. Alle soorten, behalve *Skeletonema subsalsum*, groeiden in het controle medium (Walne) in alle geteste volumes. Alle soorten, behalve *Skeletonema subsalsum*, zijn aangeslagen in 30 ml drainwater. Deze soort was in slechte conditie aangeleverd door CCAP. De andere soorten zijn overgeënt door de 30 ml in 100 ml drainwater te brengen. Dit volume liet wisselende resultaten zien. Het filtreren van het drainwater in combinatie met steriliseren en toevoegen vitaminen gaf het beste resultaat. Geen van de geselecteerde soorten is aangeslagen in 2500 ml drainwater. Naast de vijf geselecteerde soorten is ook *Phaeodactylum tricornutum* geënt. Deze soort was tijdens de desk studie niet opgenomen in de selectie omdat de soort niet als goed voer voor schelpdieren wordt beschouwd. *Phaeodactylum* was de enige soort die in 2500 ml wilde groeien. Daarnaast is spontaan een eencellige groenwier gaan groeien in alle volumes inclusief 2500 ml. Deze algensoort is door CCAP geïdentificeerd als *Micractinium* sp.

Tabel 3. Resultaten van verschillende behandelingen van het eerste experiment. Wanneer de cultuur kleur kreeg werd gechecked of de juiste soort was gaan groeien. Als dat het geval was werd de behandeling als succesvol aangemerkt (+). In de andere gevallen (geen groei, of groei van een andere soort) was de behandeling niet succesvol (-). (1) De meeste cellen waren Micractinium, maar Brachiomonas was altijd aanwezig in kleinere hoeveelheden. (2) na verloop van tijd ging Micractinium domineren.

		Drainwater onbehandeld	Drainwater gefiltreerd	Drainwater gefiltreerd met silica	Drainwater gefiltreerd met chloor	Drainwater gefiltreerd met chloor en vitaminen	Walne medium geautoclaveerd
<i>Dunaliella</i>	30 ml	+	+	+	+	+	+
<i>tertiolecta</i> (flagellaat)	100 ml	“+/-	“+/- (2)	“+/-	+	+	+
	2500 ml	-	-	-	-	-	+
<i>Brachiomonas</i>	30 ml	+	+	+	+	+	+
<i>submarina</i> (flagellaat)	100 ml	“+/-	“+/- (2)	“+/-	+	+	+
	2500 ml	-	-	-	-	“+/- (1)	+
<i>Thalassiosira</i>	30 ml	+	+	+	“+/-	+	+
<i>pseudonana</i> (diatomee)	100 ml	“+/-	“+/- (2)	“+/-	“+/-	+	+
	2500 ml	-	-	-	-	-	+
<i>Chaetoceros</i>	30 ml	+	+	+	“+/-	+	+
<i>muelleri</i> (diatomee)	100 ml	“+/-	“+/- (2)	“+/-	“+/-	+	+
	2500 ml	-	-	-	-	-	+
<i>Phaeodactylum</i>	30 ml					+	+
<i>tricornutum</i> (diatomee)	100 ml					+	+
	2500 ml					+	+
<i>Skeletonema</i>	30 ml			-	-		
<i>subsalsum</i> (diatomee)	100 ml						
	2500 ml						



Figuur 2. Enkele voorbeelden van verschillende behandelingen van het eerste experiment in 30 ml (boven van links naar rechts en van boven naar beneden: Chaetoceros in Walne aangeslagen, Thalassiosira in Walne aangeslagen, Dunaliella in Walne aangeslagen, 2x Chaetoceros in drainwater aangeslagen, 2x Dunaliella in drainwater aangeslagen, Brachiomonas in drainwater aangeslagen), 100 ml (midden vlnr en vbnb: 2x Chaetoceros in drainwater en 1x Brachiomonas in drainwater aangeslagen, 2x Dunaliella in drainwater aangeslagen, 1x Thalassiosira in drainwater, 2x Chaetoceros in drainwater) en 2500 ml (onder vlnr: Dunaliella in drainwater, Brachiomonas in drainwater - Micractinium gaat groeien, Chaetoceros in drainwater, Chaetoceros in drainwater, Thalassiosira in drainwater, Brachiomonas in drainwater - Micractinium gaat groeien, Dunaliella in drainwater).

De opschaling van 100 ml naar 2500 ml werd bewerkstelligd door het enten van 200 ml uit twee 100 ml drainwater W/F flessen. Daarnaast ging het gepaard met een overgang van stilstaand water naar met lucht doorborreld water en een overgang van plastic naar glas. Om het effect van deze veranderingen uit te testen is een tweede experiment opgezet waarbij algen zijn gekweekt in glazen en plastic containers en in stilstaand water, gezwenkt water en met lucht doorborreld water. Daarnaast is ook het zoutgehalte verhoogd tot 5 promille (‰). Van *Brachiomonas* was onvoldoende entmateriaal beschikbaar om het experiment te kunnen starten.

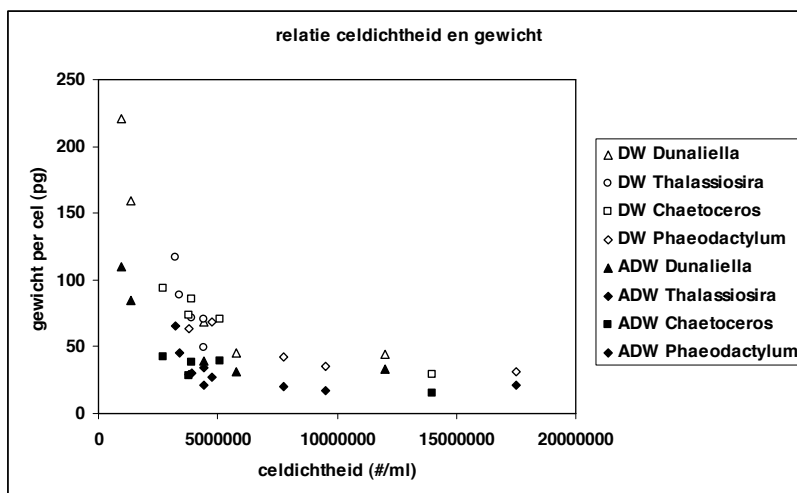
De resultaten van het tweede experiment zijn weergegeven in tabel 4 en figuur 3. Uit het experiment blijkt dat in alle behandelingen algengroei optrad. Bij drie van de vier soorten gaf doorborrelen in een glazen erlenmeyer de hoogste celdichtheid en het hoogste totale gewicht. Alleen *Thalassiosira* week hiervan af met de hoogste celdichtheid in stilstaand water en met zwenken, maar wel het hoogste totale gewicht bij doorborrelen in een glazen erlenmeyer. Het verhogen van het zoutgehalte leverde bij twee van de vier soorten een hogere celdichtheid op. De hoogste waarden voor het zoutgehalte werden gevonden in de behandeling waar extra zout aan was toegevoegd (tabel 4). Daaropvolgend waren de zoutgehalte waarden in de behandeling waarbij met lucht werd doorborreld, waarschijnlijk als gevolg van verdamping. De hoogste gewichten van de cellen werden gevonden bij de laagste celdichtheden (Fig. 4). Dit gold voor alle geteste soorten en voor zowel het drooggewicht als het as-vrij drooggewicht van de cellen. Het celgewicht is een maat voor de celgrootte.

Tabel 4. Resultaten van de behandelingen van het tweede experiment. in (1) 100 ml W/K flessen of (2) 250 ml erlenmeyers aan het einde van het experiment na 10 dagen. De hoogste waarden zijn vet gedrukt.

Behandeling	pH	Zoutgehalte (‰)	Cell dichtheid (cellen/ml)	DW algaes (pg/cel)	DW algen
					totaal (mg/ml)
<i>Dunaliella</i> plastic blanco (1)	6.4	2.5	5800000	46	0.27
<i>Dunaliella</i> plastic 5 ppm (1)	6.6	7.6	4400000	68	0.30
<i>Dunaliella</i> glas zwenken (2)	6.3	2.7	1380000	159	0.22
<i>Dunaliella</i> plastic zwenken (2)	6.4	2.6	980000	220	0.22
<i>Dunaliella</i> glas doorborrelen (2)	6.4	3.1	12000000	44	0.53
<i>Thalassiosira</i> plastic blanco (1)	6.2	2.7	4400000	50	0.22
<i>Thalassiosira</i> plastic 5 ppm (1)	6.6	8.2	3900000	72	0.28
<i>Thalassiosira</i> glas zwenken (2)	6.4	2.5	4400000	70	0.31
<i>Thalassiosira</i> plastic zwenken (2)	6.3	2.5	3400000	88	0.30
<i>Thalassiosira</i> glas doorborrelen (2)	6.3	4.1	3250000	117	0.38
<i>Chaetoceros</i> plastic blanco (1)	6.3	3.2	2700000	93	0.25
<i>Chaetoceros</i> plastic 5 ppm (1)	6.2	7.9	3800000	73	0.28
<i>Chaetoceros</i> glas zwenken (2)	6.4	3.4	5100000	71	0.36
<i>Chaetoceros</i> plastic zwenken (2)	6.3	3.4	3900000	86	0.33
<i>Chaetoceros</i> glas doorborrelen (2)	6.6	5.2	14000000	29	0.41
<i>Phaeodactylum</i> plastic blanco (1)	6.4	3.3	3800000	63	0.24
<i>Phaeodactylum</i> plastic 5 ppm (1)	6.5	9.2	4750000	69	0.33
<i>Phaeodactylum</i> glas zwenken (2)	6.7	4.3	9500000	35	0.34
<i>Phaeodactylum</i> plastic zwenken (2)	6.6	5.1	7750000	43	0.33
<i>Phaeodactylum</i> glas doorborrelen (2)	6.4	6.4	17500000	31	0.55



Figuur 3. Verschillende behandelingen van het tweede experiment om het effect van veranderingen bij opschalen van 100 ml naar 2500 ml te testen (links boven van voor naar achter 100 ml W/K flessen met *Dunaliella*, *Chaetoceros*, *Thalassiosira* en *Phaeodactylum*, steeds drainwater boven, drainwater 5‰ midden en Walne onder; rechts boven 250 ml erlenmeyers van links naar rechts *Chaetoceros*, *Phaeodactylum*, *Thalassiosira* en *Dunaliella* op schudtafel in plastic (links) en glas (rechts); onder doorborrelen in 250 ml glazen erlenmeyers van links naar rechts *Chaetoceros*, *Phaeodactylum*, *Thalassiosira* en *Dunaliella*).



Figuur 4. Relatie tussen celdichtheid en drooggewicht of as-vrij drooggewicht van de algen uit het tweede experiment.

Uit het tweede experiment blijkt dat de behandeling met lucht doorborreld water in een glazen erlenmeyer groei laat zien bij de soorten *Dunaliella*, *Brachiomionas* en *Chaetoceros*. In de eerste proef van tabel 3 zijn deze soorten niet aangeslagen in met lucht doorborreld glazen erlenmeyers van 2500 ml. De verandering van plastic naar glas en van stilstaand water naar met lucht doorborreld water kan niet de reden kan zijn dat deze soorten niet zijn aangeslagen. Mogelijk moet de verklaring worden gezocht in de oorsprong van het entmateriaal. Bij het tweede experiment kwam het entmateriaal uit 100 ml Walne medium. Bij het enten van 2500 ml in de eerste proef werd steeds gebruik gemaakt van entmateriaal uit drainwater. Dit verschil kan een mogelijke een rol spelen in het verschil in resultaten tussen algengroei in een glazen erlenmeyer met doorborrelen in 250 ml en geen algengroei bij dezelfde behandeling bij 2500 ml. Een bepaalde stof kan pas na een aantal keer overenten limiterend worden. Dit wordt bevestigd door een derde experiment waarbij 2500 ml drainwater met 250 ml *Dunaliella* cultuur werd geënt dat uit drainwater of uit Walne kwam. De cultuur met entmateriaal uit Walne sloeg aan en die met entmateriaal uit drainwater niet (Fig. 5).

Drainwater met vitamines bevat een aantal stoffen die niet in andere kweekmedia aanwezig zijn. Tabel 5 geeft de resultaten weer van een quick scan van de literatuur over kweekmedia die over het algemeen worden toegepast voor de teelt van de geselecteerde soorten. Het Walne medium en F2 medium worden gemaakt op basis van gefiltreerd zeewater dat spore elementen bevat die niet in drainwater zitten. Het belangrijkste verschil is dat drainwater geen kobalt en vitamines bevat terwijl de andere media dat wel bevatten (Tabel 5). Toevoegen van vitamines aan het drainwater in 2500 ml volume is uitgetest en leverde niet het gewenste resultaat. Daarnaast hebben Hussenot et al (1997) vastgesteld dat een ratio op basis van molgewicht van 10/4/1/0.7/0.1 voor N/Si/P/Fe/Mn optimaal is voor grootschalige buitenkweek van diatomeeën. Het drainwater heeft een andere verhouding tussen genoemde stoffen (10/0.3/0.6/0.01/0.002). Silicaat en fosfaat, ijzer en mangaan zijn relatief minder aanwezig. Deze afwijkende verhouding kan een verklaring zijn voor het uitblijven van groei in 2500 ml.

Om een eventueel gebrek aan een stof die niet in drainwater zit, maar wel in Walne te onderzoeken is een vierde experiment ingezet in 30 ml W/K flessen waarbij drainwater en Walne medium zijn gemengd en waarbij entmateriaal uit Walne en uit drainwater zijn gebruikt. De resultaten worden weergegeven in tabel 6 en figuur 6. De groei is bepaald aan de hand van de kleur van de cultuur en de kwaliteit van de algencellen onder de microscoop. De beste groei werd gevonden bij de behandeling drainwater met een ent uit Walne, behalve voor *Phaeodactylum*, daar was drainwater met een ent uit drainwater het beste. Het zoutgehalte toonde niet veel variatie. Deze test geeft aan dat er voor de geselecteerde algensoorten een stof ontbreekt in het drainwater.



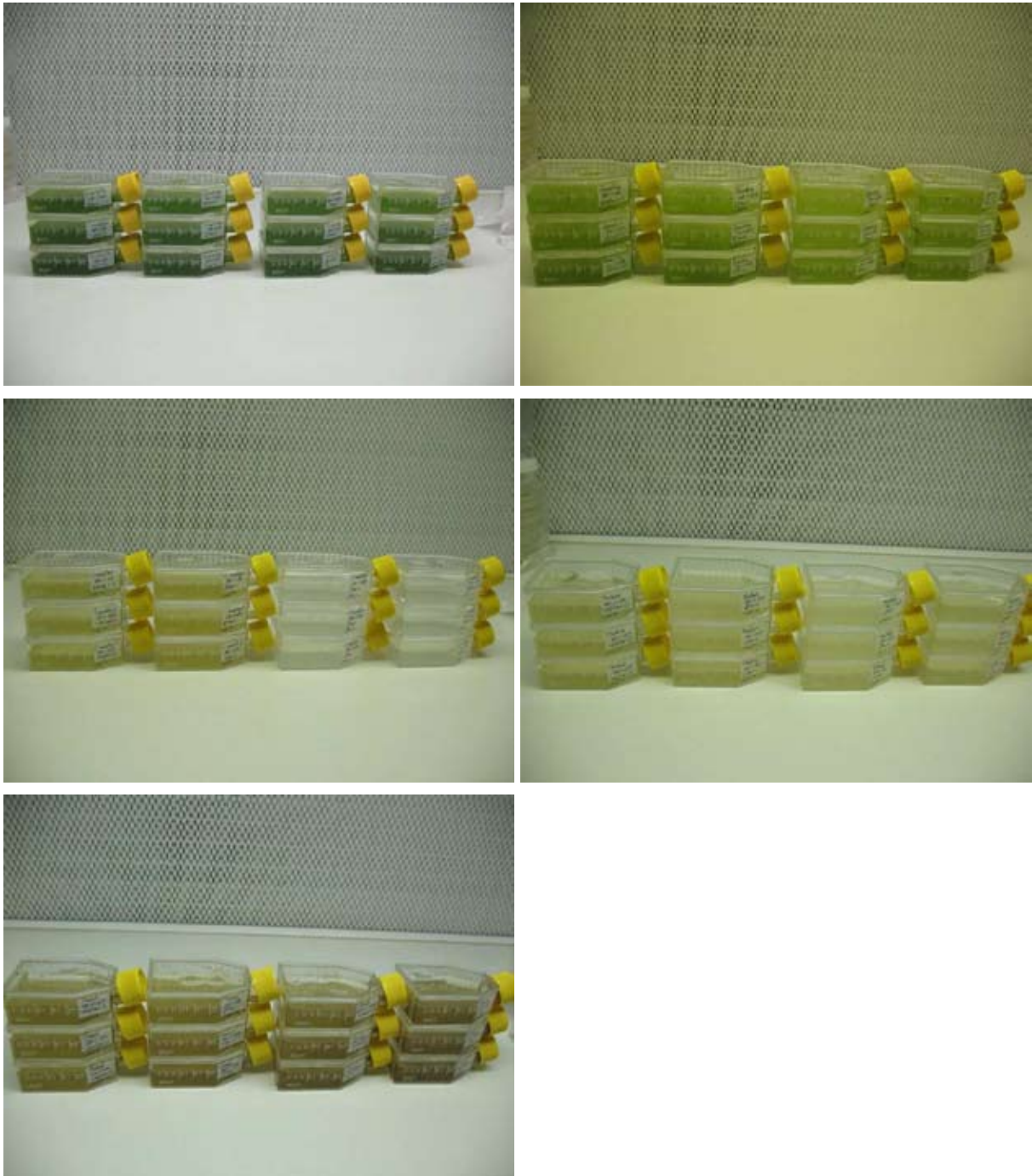
Figuur 5. Resultaten van het derde experiment, 2500 ml drainwater cultuur met 250 ml *Dunaliella* ent uit Walne (links) of 250 ml *Dunaliella* ent uit drainwater (rechts) na 10 dagen (links) en na 18 dagen (rechts).

Tabel 5. Literatuur gegevens over samenstelling media voor geselecteerde algen in vergelijking met drainwater.

	drain	Walne	zeewater	<i>Brachiomonas medium</i>	<i>Micractinium medium</i>	<i>Dunaliella medium</i>	<i>Chaetoceros medium</i>	<i>Thalassiosira medium</i>	<i>Phaeodactylum medium</i>
referenties	Blgg	Walne, 1970	Barnes & Huges, 1982	Tsavalos & Day, 1994	Oron et al, 1981	Sciandra & Ramani, 1994	Liang et al, 2006	Valenzuela-Espinoza et al, 2007	Liang et al, 2006
	SGS	IMARES	Baretta-Bekker et al, 1992		CCAP	F2, Guillard	F2, Guillard	F2, Guillard	F2, Guillard
			Wong & Zhang, 2007						
parameter									
NH4	x	x	x		x				
NO3	x	x	x	x	x	x	x	x	x
NO2			x	x					
P	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Si	x	x	x	x	x	x	x	x	x
K	x		x	x	x				
Na	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ca	x		x	x	x				
Mg	x		x	x	x				
Cl	x	x	x	x	x	x	x	x	x
SO4	x	x	x	x	x	x	x	x	x
HCO3	x		x		x				
Fe	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Mn	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zn	x	x	x	x	x	x	x	x	x
B	x	x	x	x	x				
Cu	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Mo	x	x	x		x	x	x	x	x
Co		x	x	x	x	x	x	x	x
Br			x						
Sr			x						
F			x						
I			x						
Cr			x						
As			x						
chelaat	x	x		x	x	x	x	x	x
vitaminen		x		x	x	x	x	x	x

Tabel 6. Resultaten van het vierde experiment, drainwater en Walne medium gemengd en ongemengd met entmateriaal uit Walne en uit drainwater getest in 30 ml W/K flessen. Dichtheid na 17 dagen is aangegeven met 0,1,2,3,4: 0 is geen kleur en 4 is donker gekleurd, de kwaliteit is aangegeven met *, **, ***: * is slecht en *** is goed, zoutgehalte aan het eind van het experiment is weergegeven in ‰.

	medium	Drainwater+Walne	Drainwater	Drainwater+Walne	Drainwater
	ent	vanuit Walne	vanuitWalne	vanuit Drainwater	vanuit Drainwater
algensoort	parameter				
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	dichtheid	3	4	1	2
	kwaliteit	**	***	*	*
	zoutgehalte	1.5	1.6	1.5	1.4
<i>Brachiomonas submarina</i>	dichtheid	2	4	3	1
	kwaliteit	**	***	**	*
	zoutgehalte	1.5	1.4	1.6	1.6
<i>Chaetoceros muelleri</i>	dichtheid	3	4	0	0
	kwaliteit	***	***		
	zoutgehalte	1.7	1.5	1.5	1.5
<i>Thalassiosira pseudonana</i>	dichtheid	3	4	1	2
	kwaliteit	***	***	*	*
	zoutgehalte	1.4	1.5	1.5	1.4
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	dichtheid	1	2	3	4
	kwaliteit	**	**	*	*
	zoutgehalte	1.7	1.6	1.7	1.4



Figuur 6. Resultaten van het vierde experiment in 30 ml W/K flessen, drainwater en Walne medium gemengd en ongemengd met entmateriaal uit Walne en uit drainwater: Dunaliella tertiolecta (links boven), Brachiomonas submarina (rechts boven), Chaetoceros muelleri (links midden), Thalassiosira pseudonana (rechts midden) en Phaeodactylum tricornutum (links onder) steeds van links naar rechts in triplo: Drainwater+Walne (vanuit Walne); Drainwater (vanuit Walne); Drainwater (vanuit Drainwater); Drainwater+Walne (vanuit Drainwater).

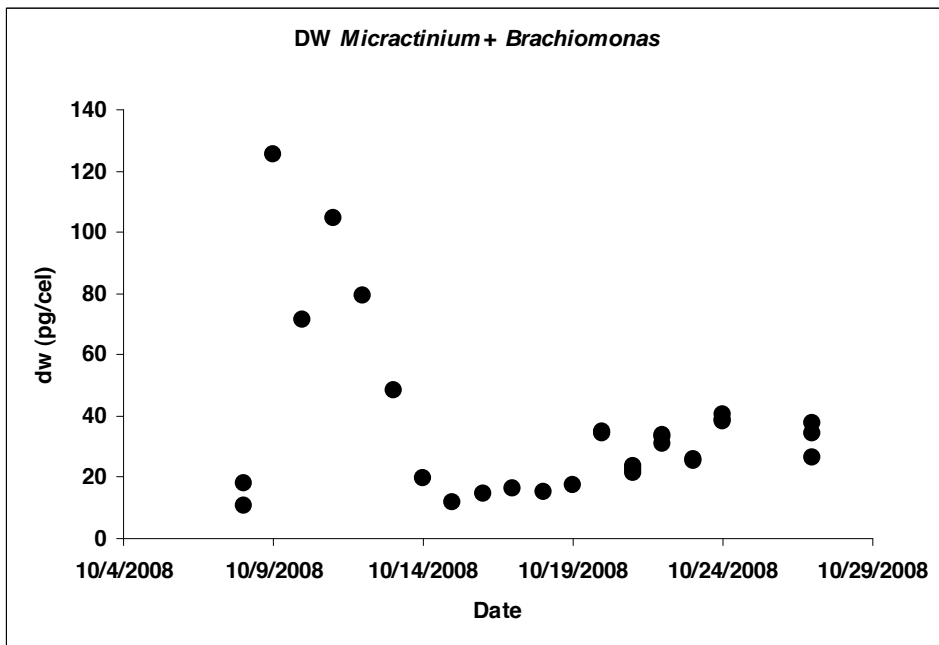
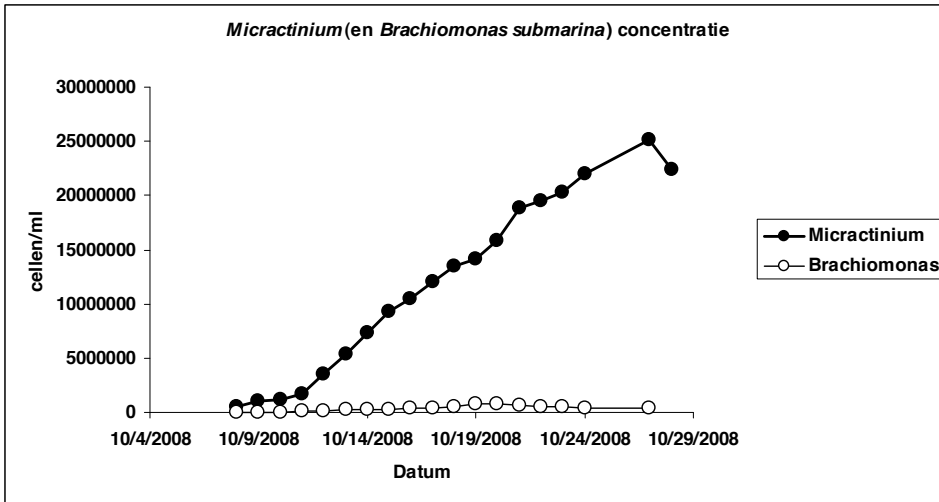
4.1.3. Groei algen en opname nutriënten

Het verloop in celdichtheid van een batch cultuur met mix van *Micractinium* en *Brachiomonas* is weergegeven in figuur 7. *Brachiomonas* bereikte na 12 dagen maar een lage maximale celdichtheid van 800.000 cellen per ml. *Micractinium* bereikte een maximum van 25 miljoen cellen per ml na 19 dagen. De mix heeft bij deze hoogste dichtheid een gewicht van 0.82 mg dw per ml. De algencellen hadden het hoogste drooggewicht op de tweede dag van het experiment. Het verloop in celgewicht is waarschijnlijk een maat voor de celgrootte.

De nutriëntenconcentraties lieten een afname in P zien (tabel 7a). Het Si gehalte nam toe. *Micractinium* en *Brachiomonas* zijn flagellaten die geen Si nodig hebben. De concentratietoename is mogelijk een gevolg van verdamping van het water. Het zoutgehalte en de pH zijn ook toegenomen. Tegen de verwachting in laat het N gehalte geen afname of toename zien. Dit wijst er op dat de opname wordt gecompenseerd door verdamping. Bij de aanname dat de toename van het zoutgehalte van 1,5 naar 8,2 gelijk staat aan de verdamping is de oplossing 5,47 maal (= $8,2 : 1,5$) geconcentreerder geworden. De beginconcentratie voor fosfaat was 31,5 mg in 1 liter. Aan het eind is nog 1,5 mg in 1 liter in de geconcentreerde oplossing over, dus dat was is $1,5/5,47 = 0,27$ mg in de ongeconcentreerde liter. Er is dus $31,5 - 0,27 = 31,22$ mg P verbruikt (tabel 7b). Voor silicaat geldt een beginconcentratie van 4,9 mg in 1 liter. Er was 15,4 mg/l in de geconcentreerde oplossing over, dus is $4,9 - (15,4/5,47) = 2,1$ mg Si verbruikt. Voor stikstof geldt 150 mg per liter aan het begin. Er was 183 mg/l in de geconcentreerde oplossing over, dus er is $150 - (183/5,47) = 116,5$ mg N verbruikt.

De celdichtheid van *Phaeodactylum* bleef lange tijd zeer laag, waardoor de cultuur eigenlijk al was opgegeven. Maar na 16 dagen is toch een dichtheid bereikt van 11 miljoen cellen of 0.32 mg dw per ml (Fig. 8). De algencellen hadden het hoogste drooggewicht op de vierde dag van het experiment. *Phaeodactylum* cellen zijn veel groter dan *Micractinium* cellen. Daarom is het gewicht per cel ook hoger.

De nutriëntengehaltes van de *Phaeodactylum* behandeling zijn op de eerste dag van het experiment veel hoger dan in de *Micractinium* behandeling (tabel 8a). Dit is mogelijk veroorzaakt door de nutriënten die met het overentent uit de 200 ml flessen zijn toegevoegd. Opnieuw is de concentratie van P sterk afgenomen op het moment van hoogste celdichtheid, maar ook nu blijft N, en in dit geval ook Si, gelijk. Dit wijst er op dat de opname wordt gecompenseerd door verdamping. De pH neemt iets af. Het zoutgehalte is toegenomen, waarschijnlijk als gevolg van verdamping. De toename in zoutgehalte van 1,5 naar 4 geeft aan dat de oplossing 2,67 maal (= $4 : 1,5$) geconcentreerder is geworden. De beginconcentratie voor fosfaat was 98 mg in 1 liter. Aan het eind is nog 0,77 mg in 1 liter in de geconcentreerde oplossing over, dus dat was is $0,77/2,67 = 0,29$ mg in de ongeconcentreerde liter. Er is dus $98 - 0,29 = 97,7$ mg P verbruikt (tabel 8b). Voor silicaat geldt een beginconcentratie van 13,8 mg in 1 liter. Er was 15 mg/l in de geconcentreerde oplossing over, dus is $13,8 - (15/2,67) = 8,2$ mg Si verbruikt. Voor stikstof geldt 261 mg per liter aan het begin. Er was 273 mg/l in de geconcentreerde oplossing over, dus er is $261 - (273/2,67) = 158,8$ mg N verbruikt.



Figuur 7. Verloop van de celdichtheid (boven) en drooggewicht (beneden) van de *Micractinium Brachiomonas* mix gekweekt op drainwater.

Tabel 7a. Nutriëntenconcentraties, pH en zoutgehalte van het drainwater aan het begin van het experiment met *Micractinium* (8/10), gedurende de toename van cellen (17/10) en op het moment van hoogste celdichtheid (27/10).

<i>Micractinium</i>	P (mg/l)	Si (mg/l)	N (mg/l)	pH	zoutgehalte (‰)
10/8/2008	31.5	4.9	150	6.5	1.5
10/17/2008	2.16	14.9	255		
10/27/2008	1.5	15.4	183	8.5	8.2

Tabel 7b. Berekening van verbruik nutriënten door de *Micractinium Brachiomonas mix*.

verbruik nutriënten <i>Micractinium Brachiomonas mix</i>				
volume (ml)		start	einde*	verbruik (mg)
		1000	182,8	
P	mg/l	31.5	1.50	
	mg	31.5	0.27	31.2
Si	mg/l	4.9	15.4	
	mg	4.9	2.82	2.1
N	mg/l	150	183	
	mg	150	33.46	116.5

*Eind volume is gebaseerd op toename in zoutgehalte.

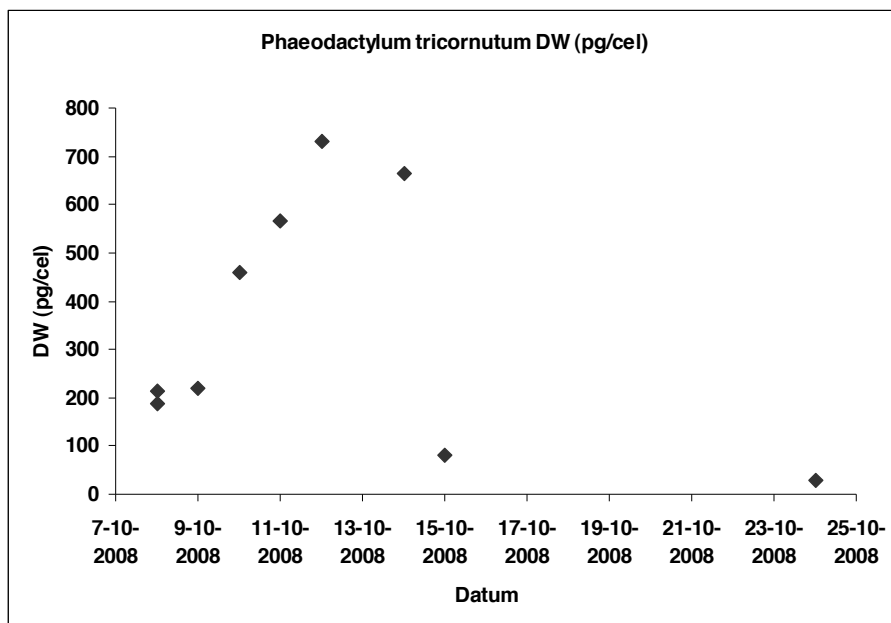
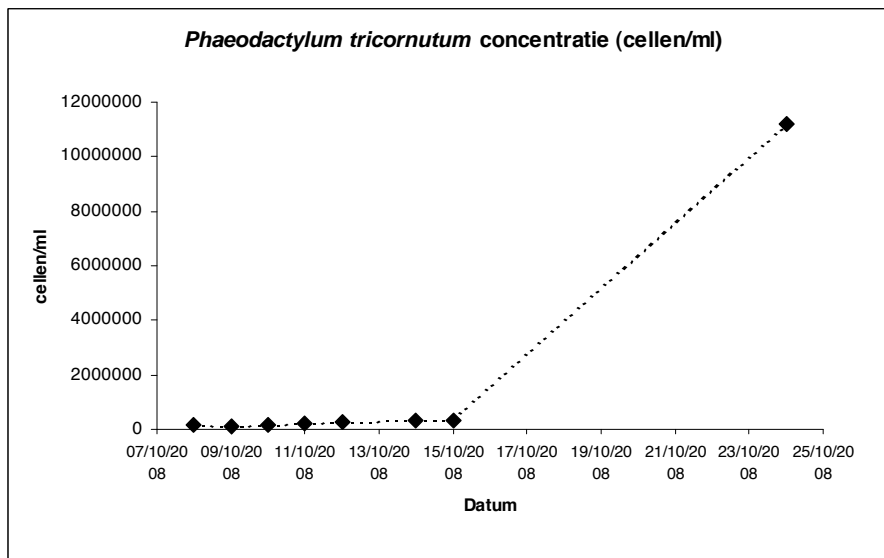
Tabel 8. Nutriëntenconcentraties, pH en zoutgehalte van het drainwater aan het begin van het experiment met *Phaeodactylum* (8/10), en op het moment van hoogste celdichtheid (24/10).

<i>Phaeodactylum</i>	P (mg/l)	Si (mg/l)	N (mg/l)	pH	zoutgehalte (‰)
10/8/2008	98	13.8	261	6.5	1.5
10/24/2008	0.77	15	273	6.0	4.0

Tabel 8b. Berekening van verbruik nutriënten door *Phaeodactylum*.

verbruik nutriënten <i>Phaeodactylum</i>				
volume (ml)		start	einde*	verbruik (mg)
		1000	374	
P	mg/l	98	0.77	
	mg	98	0.29	97.7
Si	mg/l	13.8	15.0	
	mg	13.8	5.61	8.2
N	mg/l	261	273	
	mg	261	102.1	158.9

*Eind volume is gebaseerd op toename in zoutgehalte.



Figuur 8. Verloop van de celdichtheid (boven) en drooggewicht (beneden) van *Phaeodactylum* gekweekt op drainwater.

4.2. Voedingsproef oesters

4.2.1. Waterkwaliteit

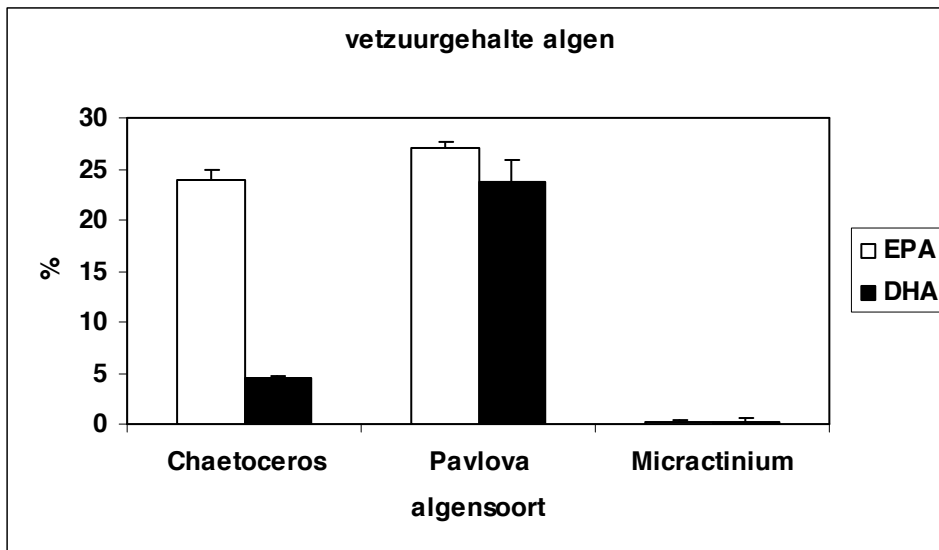
De gehalten aan NO₂ in het water van de oestercontainers varieerde tussen de 0.05 mg/l en 1 mg/l en de gehalten aan NH₄ tussen 0 mg/l en 0.5 mg/l (zie tabel 9). Het zuurstofgehalte was 92-96%. Het zoutgehalte 28-29 ‰ en de temperatuur 18.5 °C. Ervaring van IMARES leert dat dit binnen de grenzen voor een goede waterkwaliteit voor schelpdieren ligt. Het zoutgehalte was iets lager in de *Micractinium* behandeling dan in de controle behandeling. Dit is veroorzaakt doordat in deze behandeling met de algen ook drainwater medium werd geïntroduceerd in de voorraad tank.

Tabel 9. Waterkwaliteitsparameters tijdens de voedingsproef voor de oesters.

dieet	datum	NO ₂ - mg/l	NH ₄ mg/l	% O ₂	sal ‰	temp 0C
Micractinium	7-Nov-08	0.05	0			
	10-Nov-08	0.25-0.5	0			
	14-Nov-08	0.25-0.5	0-0.5	95.8	27.7	18.5
	17-Nov-08	1	0			
	21-Nov-08	1	0	92	27.9	18.5
	28-Nov-08	1	0			
controle	7-Nov-08	0.05-0.1	0			
	10-Nov-08	0.25	0			
	14-Nov-08	0.25-0.5	0-0.5	94.7	28.3	18.5
	17-Nov-08	0.5-1	0			
	21-Nov-08	0.5-1	0	91.6	28.9	18.5
	28-Nov-08	0.5-1	0			

4.2.2. Voedingswaarde algen

De voedingswaarde van de gevoerde algen is weergegeven in figuur 9. *Pavlova* heeft de hoogste percentages gevolgd door *Chaetoceros*. *Micractinium* heeft zeer lage gehalten. De waarden voor *Chaetoceros* en *Pavlova* zijn vergelijkbaar of hoger dan waarden opgegeven door Robert et al (2004): voor *Chaetoceros* EPA 21% en DHA 1%. voor *Pavlova* EPA 24% en DHA 12%. Literatuur gegevens over EPA en DHA gehalten van *Micractinium* zijn niet gevonden. Een verwante groep, *Chlorella* sp, heeft ook lage gehalten aan EPA (4.6%) en DHA (0%) (Yongmanitchia & Ward, 1991).



Figuur 9. EPA en DHA gehalten (berekend uit totale hoeveelheid vetzuren in μg per l cultuur) van *Chaetoceros calcitrans*, *Pavlova lutheri* en *Micractinium*, $n=2\pm\text{sd}$.

4.2.3. Voedselopname en groei oesters

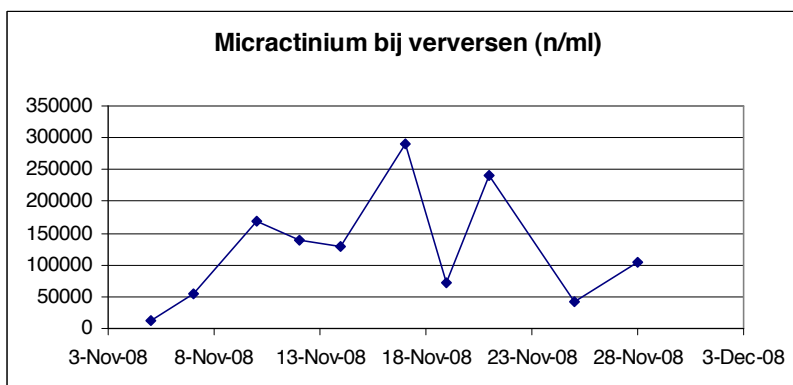
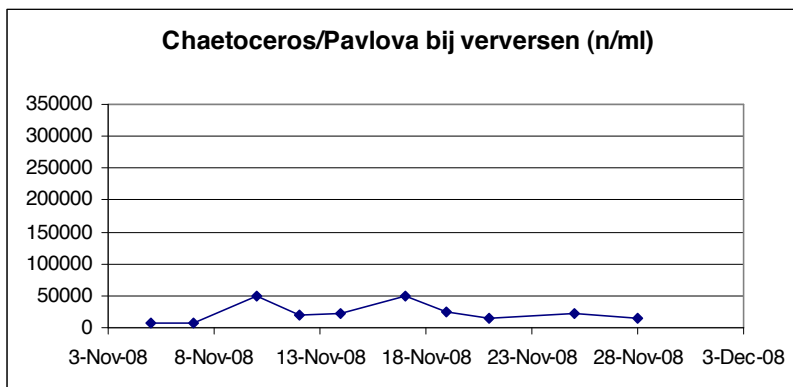
De concentratie aan algencellen in het voorraadvat vlak voor het verversen van het systeem toont fluctuaties en ligt bij het *Pavlova/Chaetoceros* dieet vaak onder de streefwaarde van 50.000 cellen/ml en voor het *Micractinium* dieet vaak er boven (Fig. 10). In tabel 10 staat de hoeveelheid algen die gedurende de gehele proef zijn opgenomen door de oesters. Er is een groter gewicht aan *Chaetoceros* en *Pavlova* opgenomen dan *Micractinium*. Uit de algentellingen vlak voor verversen van het systeem blijkt dat meer algencellen van het *Micractinium* dieet werd opgenomen dan van de mix van *Chaetoceros* en *Pavlova* (Fig. 11). Dit verschil kan worden verklaard uit het verschil in celgewicht. *Chaetoceros* is veel zwaarder dan *Macractinium* (tabel 10). De aantallen opgenomen cellen per oester per dag zijn veel hoger dan op basis van de resultaten uit tabel 1 werd verwacht. Als de gegevens van die kort durende proef worden doorvertaald naar 24 uur komt dat op 360000 cellen *Micractinium* per oester per dag en 280000 cellen van de mix van *Chaetoceros* en *Pavlova*. Bij de bepaling zoals die is weergegeven in figuur 11 speelt mogelijk mee dat algencellen naar de bodem van het voorraadvat zijn uitgezakt en dan als opgenomen zijn geregistreerd. Het systeem heeft de cellen dan opgenomen, maar niet de oesters. De hoeveelheid opgenomen algen is dus een overschatting.

Het op drainwater gekweekte *Micractinium* dieet werd voor de voedselopname proef in een voorraadvat met zeewater gepompt. Microscopische observaties lieten zien dat de cellen van deze zoetwater algensoor intact bleven in het zeewater. In de controlebehandeling met *Chaetoceros* en *Pavlova* was duidelijk feces te zien, maar

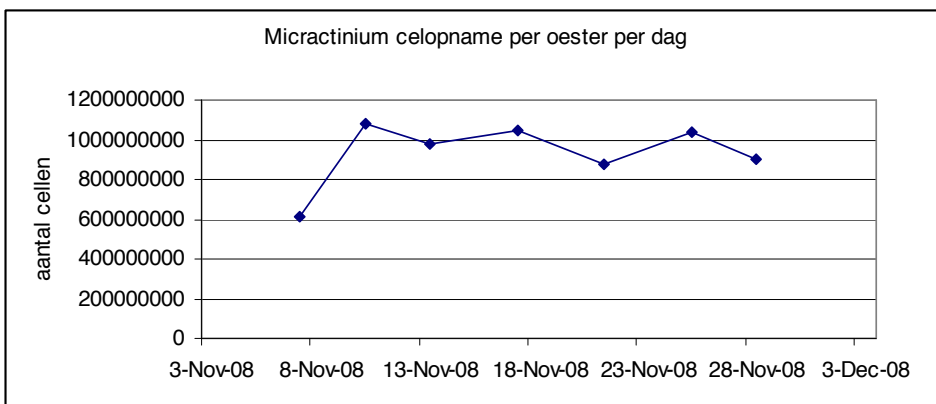
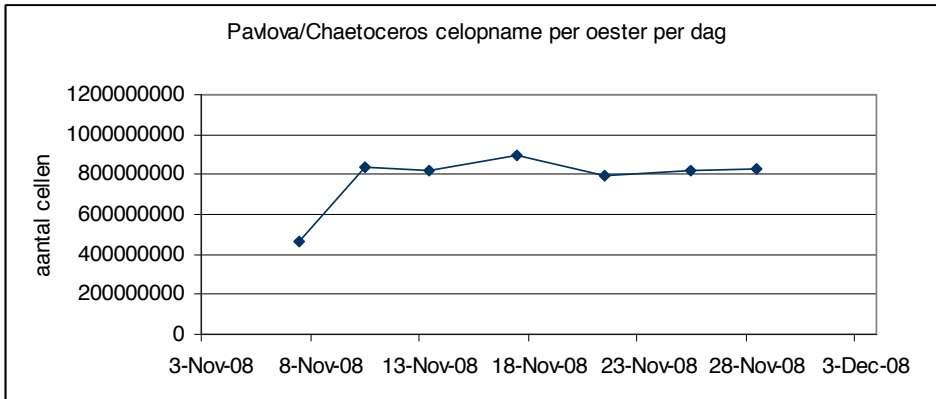
in de *Micractinium* behandeling werd waren de meeste cellen nog intact na passage door de darmen (Fig. 12). Dit wijst op slechte vertering van de *Micractinium* cellen.

Tabel 10. Hoeveelheid algen in gram as-vrij drooggewicht die gedurende de gehele proef zijn opgenomen door de oesters.

algen soort	as-vrij drooggewicht (pg ADW per cel)	totale hoeveelheid opgenomen in drie weken (g ADW)
<i>Micractinium</i> sp.	26	3.5
<i>Pavlova lutheri</i>	31	5.9
<i>Chaetoceros calcitrans</i>	72	



Figuur 10. Celconcentratie vlak voor het verversen van het systeem van de oestergroeioproef.



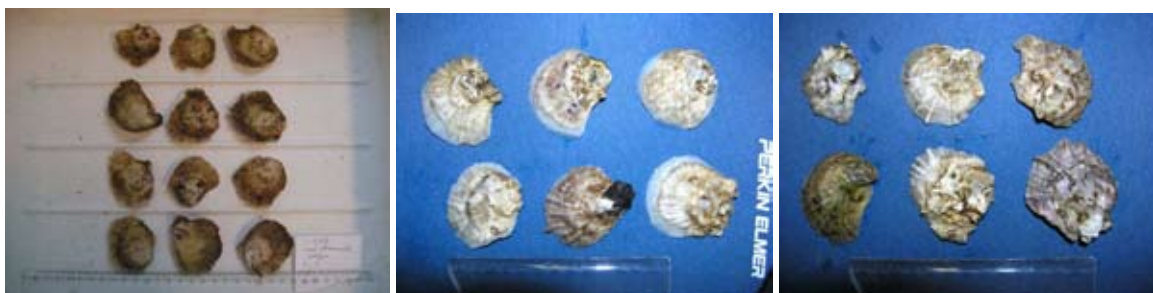
Figuur 11. Celopname per oester per dag tijdens de oestergroeiproef.



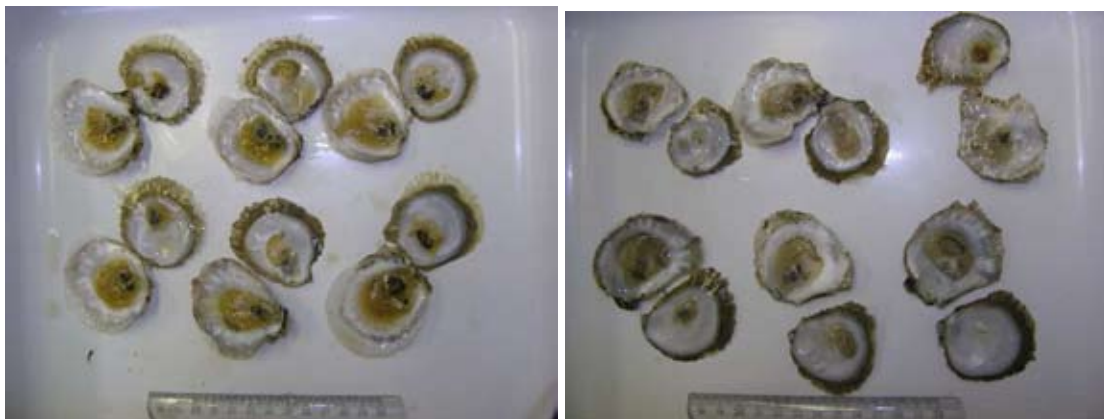
Figuur 12. Oesters die *Chaetoceros* en *Pavlova* gevoerd kregen (links) en oesters die *Micractinium* gevoerd kregen (rechts).

De groei van de oesters was beter in de controle behandeling dan op het *Micractinium* dieet. Dit blijkt uit een grotere toename in schelpoppervlak (26% in controle versus 18% in *Micractinium*) en een significant (ANOVA,

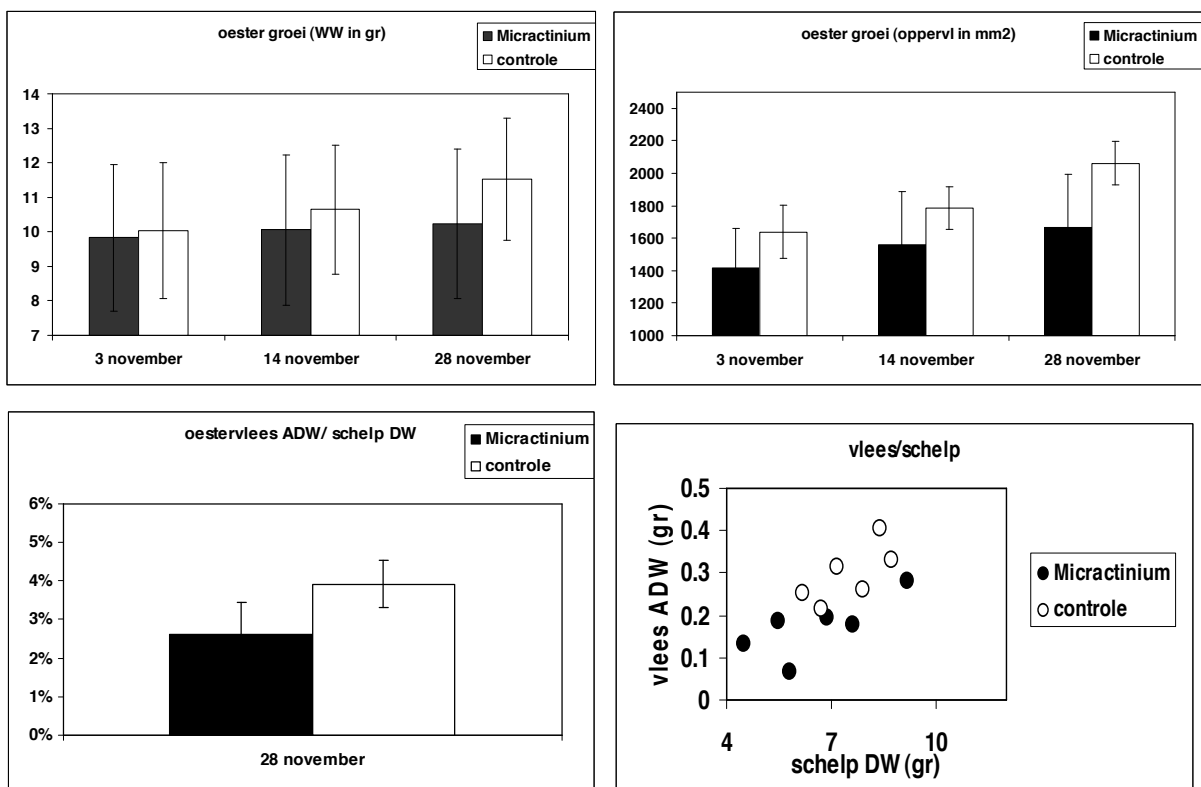
P=0.01) grotere toename in natgewicht (15% in controle versus 4% in *Micractinium*) (Fig. 13 en Fig. 15). De toename van 15% of 1.5 g van de controle is vergelijkbaar met 2 g gewichtstoename na 25 dagen behaald voor oesters met een begingewicht van 8 gram die *Skeletonema costatum* gevoerd kregen (Baud et al., 1997). Ook de voederconversie was beter in de controle behandeling dan de *Micractinium* behandeling: 5.9 g adw algen voor 9.0 g ww oester = 0.6 in de controle versus 3.5 g adw algen voor 2.4 g ww oester = 1.5 in de *Micractinium* behandeling. Aan het einde van het experiment is de verhouding oestervlees en schelp significant (ANCOVA, P<0.01) beter voor de controle behandeling dan voor het *Micractinium* dieet (Fig. 14 en 15).



Figuur 13. Oesters aan het begin van het experiment op 3 november (links), en na 25 dagen op het controle dieet (midden) of Micractinium dieet (rechts).



Figuur 14. Oestervlees na 25 dagen op het controle dieet (links) of Micractinium dieet (rechts).



Figuur 15. Natgewicht (g), schelpoppervlak (mm²), drooggewicht (DW, g) en as-vrij drooggewicht (ADW, g) van schelp en vlees gedurende het groei experiment het controle dieet of Micractinium dieet.

4. Conclusies en aanbevelingen

5.1. Geschiktheid drainwater voor algengroei

Van de zes geselecteerde algensoorten *Skeletonema subsalsum*, *Brachiomonas submarina*, *Chaetoceros muelleri*, *Thalassiosira pseudonana*, *Chlamydomonas pulsatilla* en *Dunaliella tertiolecta* is alleen *Skeletonema subsalsum* niet aangeslagen in 30 ml. Deze soort was in slechte conditie aangeleverd door CCAP. *Chlamydomonas pulsatilla* kon gedurende het project niet worden verkregen in een cultuurbibliotheek en is daarom niet getest. In 100 ml was een voorbehandeling van het drainwater in de vorm van filtreren in combinatie met steriliseren en toevoegen van vitamines nodig om de overgebleven 4 soorten aan te laten slaan. Geen van de geselecteerde soorten is in dit eerste experiment aangeslagen in 2500 ml drainwater. *Phaeodactylum tricorutum* (later aan de selectie toegevoegd) en *Micractinium* sp. (spontaan gaan groeien) zijn de enige twee soorten die in 2500 ml wilden groeien. Een tweede experiment uitgevoerd om het effect van de veranderingen die gepaard gingen met de opschaling van 100 ml naar 2500 ml liet zien dat de overgang van stilstaand water naar met lucht doorborreld water en van plastic naar glas niet de reden kan zijn dat *Dunaliella*, *Brachiomonas* en *Chaetoceros* niet zijn aangeslagen in 2500 ml.

Een quick scan van de literatuur over kweekmedia die over het algemeen worden toegepast voor de teelt van de geselecteerde soorten toonde dat drainwater geen kobalt bevat en dat silicaat en fosfaat, ijzer en mangaan relatief minder aanwezig zijn. Deze afwijkende samenstelling kan een verklaring zijn voor het uitblijven van groei in 2500 ml. Om 2500 ml te enten is eerst overgeent uit 30 ml en daarna uit 100 ml. Een bepaalde stof kan pas na een aantal keer overenten limiterend worden. Dit wordt bevestigd door een derde experiment waarbij 2500 ml drainwater met *Dunaliella* cultuur werd geënt dat uit drainwater of uit Walne kwam. De cultuur met entmateriaal uit Walne sloeg aan en die met entmateriaal uit drainwater niet. Ook een vierde experiment met *Dunaliella tertiolecta*, *Brachiomonas submarina*, *Chaetoceros muelleri*, *Thalassiosira pseudonana* en *Phaeodactylum tricorutum*, waarbij drainwater en Walne medium zijn gemengd en waarbij entmateriaal uit Walne en uit drainwater zijn gebruikt, liet zien dat over het algemeen betere groei werd gevonden bij de behandeling met een ent uit Walne. Deze resultaten geven aan dat er voor de geselecteerde algensoorten een stof ontbreekt in het drainwater.

Aanvullende experimenten waarin het effect van het toevoegen van nu ontbrekende elementen wordt onderzocht kan uitsluitend geven welk element op termijn noodzakelijk is voor het in stand houden van de groei. De meest voor de hand liggende elementen zijn kobalt (wel aanwezig in Walne en niet in drainwater), seleen, nikkel of cadmium (wel aanwezig in zeewater en niet in drainwater; Mitrovic et al, 2004; <http://www.lennotech.com/elementen-en-water/cadmium-en-water.htm>). Het optimaliseren van het medium zodat maximale groei van de algen wordt bereikt is dan de volgende stap. Hierbij kan gedacht worden aan het toevoegen van extra silicium, fosfaat, ijzer of mangaan.

5.2. Opname nutriënten uit drainwater door groei algen

Culturen van *Micractinium* sp. en *Phaeodactylum tricornutum* lieten een afname in fosfaatgehalte zien op het moment van de grootste celdichtheid. De stikstof- en silicaatgehaltes werden echter niet verlaagd. Een grotere uitputting van fosfaat dan van stikstof sluit aan bij de observatie dat het drainwater fosfaat gelimiteerd is voor algengroei. Een afname van stikstof en, in het geval van de diatomee *Phaeodactylum*, ook silicaat werd echter ook verwacht. Dit wijst er op dat opname van deze stoffen wordt gecompenseerd. Dit kan mogelijk zijn veroorzaakt door het verhogen van de concentratie als gevolg van verdamping. Een toename van het zoutgehalte geeft aan dat verdamping heeft plaatsgevonden. Een tweede mogelijkheid is dat afbraak van dode algencellen of ander materiaal plaats vindt waardoor fosfaat, stikstof en silicaat vrijkomen. Er is vooralsnog geen sluitende verklaring voor het uitblijven van een afname in silicaat en stikstof concentratie. Aanvullende experimenten zijn nodig waarin wordt onderzocht welke meststoffen in het drainwater beperkend zijn voor volledige uitputting van stikstof en silicaat. Optimalisatie van het medium door toevoeging van limiterende stoffen of het aanpassen van de nutriënten verhoudingen is de volgende stap.

Een herhaling van de opname experimenten uitgebreid met een behandeling met drainwater zonder algen en een behandeling met het standaard kweekmedium kan meer helderheid verschaffen over de rol van verdamping en afbraak van mogelijk aanwezig organisch materiaal.

5.3. Groei oesters op in drainwater gekweekte algen

De spontaan ontstane algensoort *Micractinium* is vergeleken met een standaard dieet voor oesters bestaande uit een mix van *Pavlova lutheri* en *Chaetoceros calcitrans*. *Micractinium* heeft veel lagere gehalten aan EPA en DHA, wat aangeeft dat de voedingswaarde laag is. Daarnaast waren de meeste cellen nog intact na passage door de darmen. Dit wijst op slechte vertering van de *Micractinium* cellen. Er zijn meer algencellen van het *Micractinium* dieet opgenomen door de oesters dan van de mix van *Chaetoceros* en *Pavlova*. Maar doordat *Chaetoceros* grotere cellen heeft is een groter gewicht aan *Chaetoceros* en *Pavlova* opgenomen dan *Micractinium*. De oesters toonden een grotere toename in schelpoppervlak en natgewicht en een hogere verhouding oestervlees en schelp in de controle behandeling dan op het *Micractinium* dieet. Ook de voederconversie was beter in de controle behandeling (0.6) in dan de *Micractinium* behandeling (1.5).

Uit deze proef blijkt dat de op drainwater kweekbare algensoort *Micractinium* wel groei van oesters geeft, maar niet met de gewenste efficiëntie. Een globale berekening laat dit zien: voor de teelt van een oester van 80 gram versgewicht is 48 gram drooggewicht aan algen nodig bij een voederconversie van 0.6 en 120 gram drooggewicht aan algen bij een voederconversie van 1.5. Als een oester van 80 gram € 1.00 per stuk opbrengt en de algen € 2.00 euro per kg kosten zullen de kosten van het voer voor één oester € 0.10 zijn bij een

voederconversie van 0.6 en € 0.24 bij een voederconversie van 1.5. De eerste optie geeft meer ruimte voor commerciële productie dan de tweede.

Aanvullende experimenten waarin het effect van het toevoegen van nu ontbrekende stoffen aan het drainwater wordt onderzocht zijn nodig om een eendoordeel te kunnen vormen over de geschiktheid van drainwater voor de groei van de geselecteerde algensoorten met als doel de uitputting van stikstof en fosfaat en voedselproductie voor platte oesters. Indien deze experimenten succesvol verlopen levert dit perspectief voor de teelt van oesters op het land in combinatie met zuivering van drainwater uit de glastuinbouw.

5. Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2000 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 08602-2004-AQ-ROT-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2009. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Het laatste controlebezoek vond plaats op 23-25 april 2008. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Milieu over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2000 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 27 maart 2009 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie. Het laatste controlebezoek heeft plaatsgevonden op 12 juni 2007.

Dankwoord

Graag bedanken wij Aard Cornelisse voor het aanleveren van de oesters en Daan van Grieken suggesties voor verbetering van de tekst. We would like to thank Isabel Batista for help with the nutrient uptake experiment.

Referenties

- Baud, J.P., Gérard, Y. Naciri-Graven (1997). Comparative growth and mortality of *Bonamia ostreae*-resistant and wild flat oysters, *Ostrea edulis*, in an intensive system. I. First year of experiment. Mar. Biol. 130: 71-79.
- Baretta-Bekker J.G., E.K. Duursma, B.R. Kuipers (1992). Encyclopedia of Marine Sciences. Springer-Verlag, 311 pp.
- Barnes R.S.K. & R.N. Huges, 1982. An introduction to marine biology. Blackwell Sci. Publ, Oxford London, 215 pp.
- Helm, M.M. and Bourne, N., 2004. The hatchery culture of bivalves: a practical manual. FAO Fisheries Technical Paper 471
- Hussenot, J., N. Brossard, S. Lefebvre (1997). Mise au point d'un enrichissement de l'eau de mer pour produire en masse des microalgues diatomées comme fourrage pour les huîtres affines ou stockées en claires. In: Buchet, V, J. Hussenot (Ed.), Marais maritimes et aquaculture: préservation et exploitation des zones humides littorales. IFREMER, pp. 107-115.
- Liang Y., J.Beardall, P. Heraud, 2006 Effects of nitrogen source and UV radiation on the growth, chlorophyll fluorescence and fatty acid composition of *Phaeodactylum tricornutum* and *Chaetoceros muelleri* (Bacillariophyceae) Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology 82: 161–172
- Mitrovic, S.M., Amandi, M.F., McKenzie, L., Furey, A., James, K.J. (2004) Effects of selenium, iron and cobalt addition to growth and yessotoxin production of the toxic marine dinoflagellate *Protoceratium reticulatum* in culture. J. exp. Mar. Biol. Ecol. 313, 337-351
- Oron, G., G. Shelef & A. Levi (1981). Algal polymorphism in high rate wastewater treatment ponds. Hydrobiologia 77: 167-175.
- Robert, R., Chrétiennot-Dinet, M.J., Kaas, R., Martin-Jézéquel, V., Moal, J., Le Coz, J.R., Nicolas, J.L., Bernard, E., Connan, J.P., Le Dean, L., Gourrierc, G., Leroy, B., Quéré, C., 2004. Amélioration des productions phytoplanctoniques en éclosion de mollusques : caractérisation des microalgues fourrage, RI DRV/RA-2004-05, 149 pp.
- Sciandra A & P Ramani, 1994 The steady states of continuous cultures with low rates of medium renewal per cell J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 178: 1-15
- Tsavalos A.J. & J.G. Day, 1994 Development of media for the mixotrophic/heterotrophic culture of *Brachiomonas submarina* Journal of Applied Phycology 6: 431-433.
- Walne PR (1970) Studies on the food value of nineteen genera of algae to juvenile bivalves of the genera *Ostrea*, *Crassostrea*, *Mercenaria*, and *Mytilis*. Fish. Invest. 26, 162.
- Valenzuela-Espinoza E, Millan-Nunez R, Trees CC, Santamaria-del-Angel E, Nunez-Cebrero F 2007 Growth and accessory pigment to chlorophyll a ratios of *Thalassiosira pseudonana* (Bacillariophyceae) cultured under different irradiances. HIDROBIOLOGICA 17: 249-255.
- Wong G.T.F & L.S. Zhang, 2007 The kinetics of the reactions between iodide and hydrogen peroxide in seawater Marine Chemistry 111: 22–29

Yongmanitchia W. & O.P. Ward, 1991 Screening of algae for potential alternative sources of eicosapentaenoic acid. *Phytochemistry* 30: 2963-2967.

Verantwoording

Rapport C021/09
Projectnummer: 4394104601

Verantwoording

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van Wageningen IMARES.

Akkoord: Prof. Dr. A.C. Smaal
Senior onderzoeker



Handtekening:

Datum: februari 2009

Akkoord: Ir. H. van der Mheen
Afdelingshoofd



Handtekening:

Datum: maart 2009

Aantal exemplaren:	20
Aantal pagina's:	39
Aantal tabellen:	10
Aantal figuren:	15
Aantal bijlagen:	0

Algae culture on drainwater from greenhouse horticulture – Towards an algae culture pilot for greenhouse horticulture
Stichting H2Organic
InnovationNetwork Report No 09.2.219, Utrecht, The Netherlands,
September 2009

The agriculture sector is rapidly warming to the idea of algae culture. Arable farmers, livestock farmers and greenhouse growers are all interested. This report contains an elaborated plan for a pilot-scale practical test and three appendices.

The two-year pilot is going to cost about EUR 1 million and will yield practical knowledge about using algae to purify drainwater from greenhouse horticulture. A partnership between numerous small algae growers in a sales cooperative should lead to a better market position.

Appendix 1 gives a description of various algae systems and the different types of algae that can currently be cultivated. *Chlorella* and *Arthrospira* are the most suitable types for cultivation on greenhouse drainwater. The most economically viable choice appears to be a hybrid nursery with a photobioreactor for starter material and covered raceways for mass production.

Appendix 2 gives specific options for combining greenhouse horticulture and algae culture, including the surface allocated to, respectively, algae culture and greenhouse horticulture.

Appendix 3 gives the detailed findings of research conducted by Imares into algae on drainwater specifically for the oyster growing sector.