

Oogsten van micro-algen

Inventarisatie oogstmethoden en praktijkresultaten

Auteurs: Jan Rinze van der Schoot, Roelof Schipperus, Maarten Kootstra



Oogsten van micro-algen

Inventarisatie oogstmethoden en praktijkresultaten

Auteurs: Jan Rinze van der Schoot, Roelof Schipperus, Maarten Kootstra

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van ACRRES- Wageningen UR.

ACRRES – Wageningen UR is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Projecttitel: Duurzame eiwitproductie met micro-algen: een ketenbenadering

Projectnr.: 3250242500

Dit project is mede mogelijk gemaakt door:



Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

ACRRES – Wageningen UR

Adres : Edelhertweg 1, Lelystad
: Postbus 430, 8200 AK Lelystad
Tel. : 0320 - 29 11 11
Fax : 0320 - 23 04 79
E-mail : info@acrres.nl
Internet : www.acrres.nl

Inhoudsopgave

1	INLEIDING	5
2	INVENTARISATIE OOGSTTECHNIEKEN	7
2.1	Centrifugeren	7
2.2	Sedimentatie	8
2.3	Flotatie	9
2.4	Flocculatie.....	9
2.5	Filtratie	10
2.6	Alternatief voor oogst.....	11
3	RESULTATEN UIT PRAKTIJKPROJECTEN.....	13
3.1	ACRRES project Energierijk Lelystad	13
3.2	KRW (Kaderrichtlijn Water) project Alkmaar 2009 en 2010.....	13
3.3	Proefonderzoek Algenfarming (Waterstromen).....	14
3.4	Ecoferm.....	14
4	LITERATUURLIJST	15

1 Inleiding

Binnen het project Energierijk zijn bij ACRRES diverse proefopstellingen op pilotschaal gerealiseerd, waaronder twee algenvijvers waarin onder andere wordt onderzocht hoe een zo groot mogelijke algenproductie kan worden gerealiseerd [1].

Bij de kweek van algen is het oogsten een groot punt van aandacht. Dit wordt veroorzaakt door enkele van de eigenschappen van de algensuspensie. Zo zijn algen klein van formaat (2-10 μm), ligt hun soortelijke gewicht dicht bij dat van het groeimedium en bevat een algencultuur doorgaans tussen de 0,1 en enkele grammen droge stof per liter. Deze eigenschappen maken oogsten met behulp van centrifugatie of filtratie al snel duur per hoeveelheid geoogste alg.

In dit rapport worden de resultaten beschreven van een inventarisatie van verschillende methoden voor het oogsten van micro-algen. Veel van de besproken methoden zijn erop gericht om op een goedkope en min of meer passieve manier een voorconcentratie van de algensuspensie te bewerkstelligen, om zo uiteindelijk door een kleiner te verwerken volume te besparen op de actieve concentratiestap, bijvoorbeeld de centrifuge. Bij de inventarisatie is gebruik gemaakt van wetenschappelijke literatuur en ook van een aantal beschikbare rapporten van praktijkopstellingen.

Wanneer in dit rapport wordt gesproken over 'algen', wordt, tenzij anders vermeld, bedoeld op micro-algen die grotendeels gebruik maken van CO_2 d.m.v. fotosynthese, en niet op macro-algen (zeewier), cyanobacteriën (vroeger: blauwalgen), of heterotrofe micro-algen groeiend op een andere C-bron dan CO_2 . In dit rapport wordt een aantal oogstmethoden besproken die op zichzelf of in combinatie met elkaar kunnen uitkomen op een drogestofgehalte van ongeveer 15%. Het verder indrogen of ontsluiten van het geoogste materiaal wordt niet behandeld.

Het tweede deel van het rapport bevat een aantal gepubliceerde resultaten van Nederlandse praktijkprojecten waar algen gekweekt zijn op grotere schaal. De focus ligt bij de oogstmethode, maar eventueel relevante teeltinformatie ook wordt ook vermeld.

2 Inventarisatie oogsttechnieken

Hieronder volgt een beschrijving van een aantal oogsttechnieken. Het mag duidelijk zijn dat een aantal hiervan een zekere overlap vertonen, en/of in aanvulling op elkaar toegepast kunnen worden. Zo kunnen sedimentatie, flotatie en flocculatie worden toegepast als voorconcentratie, waarna een centrifuge- of filtratiestap kan plaats vinden. Zo is er door de voorconcentratiestap een grote afname van het volume dat behandeld moet worden, met een afname van de benodigde energie per hoeveelheid geoogste alg als gevolg.

2.1 Centrifugeren

Bij centrifugeren worden algen gescheiden van het groeimedum op basis van verschil in soortelijk gewicht. Doordat dit verschil vaak klein is, en de concentratie algen in het groeimedum relatief laag, moet er hard en/of lang worden gecentrifugeerd en moet veel volume worden verwerkt. Dit leidt ertoe dat centrifugeren vrij veel energie kost per hoeveelheid geoogste alg. Desondanks wordt centrifugeren vaak toegepast in het oogstproces, aangezien het een bekend en relatief eenvoudig proces is en centrifuges doorgaans makkelijk schoon te maken zijn [2-4].

Er bestaan zowel batch- als continue centrifuges. Algemeen gesproken kan het batch type het product tot hoge drogestofgehaltes indikken, maar moet handmatig geleegd worden en is vaak beperkt schaalbaar. Figuur 1 laat de huidige opstelling bij de ACRRES algenvijver zien waar met een niet-continue centrifuge wordt geoogst; in dit geval tot een drogestofgehalte van circa 15% (w/w).



Figuur 1. Centrifuge bij ACRRES.

Voor grotere debieten en geautomatiseerde processen is een continue of zelflossende centrifuge geschikt. Deze centrifuges zijn wel beperkt in het te behalen drogestofgehalte product omdat dit nog vloeibaar genoeg moet zijn om af te voeren. Dit betekent dat maximaal circa 5 a 10 % droge stof haalbaar is.

Verschillende types zelflossende centrifuges kunnen voor de oogst van algen gebruikt worden, elk met eigen specifieke sterke en zwakke eigenschappen. Schotelcentrifuges of nozzle-centrifuges zijn bijvoorbeeld geschikt voor stromen met een relatief lage concentratie aan vaste delen, en een decanteercentrifuge heeft juist vaste stof nodig om optimaal te werken.

De waaiercentrifuge van Evodos is een zelflossende centrifuge die speciaal voor het scheiden van algen en medium ontworpen is. Het apparaat werkt met een lager toerental dan andere centrifuges, en hierdoor zou minder beschadiging aan de cellen plaats vinden, terwijl toch een product met een hoog drogestofgehalte zou kunnen worden verkregen [5].

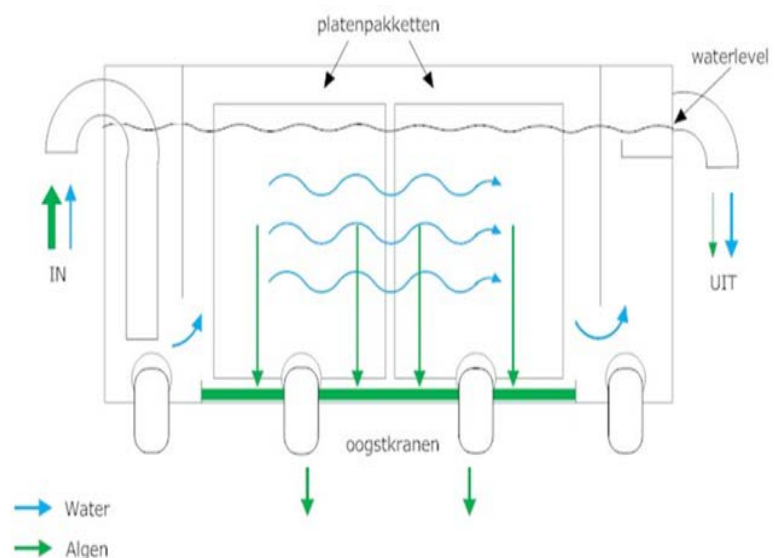
2.2 Sedimentatie

Indien de algen een hoger soortelijk gewicht hebben dan het groeimedum, zullen ze, wanneer er wordt gestopt met roeren/agiteren, gaan bezinken. Dit wordt ook wel sedimentatie genoemd. Wanneer vervolgens het bovenliggende medium wordt afgegoten, blijft er een geconcentreerde suspensie over. Doorgaans is bezinken van losse algen een langzaam proces en wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van flocculatie om het proces te versnellen (zie paragraaf 2.4).

Een andere mogelijkheid is een bezink-opstelling zoals weergegeven in Figuur 2 en Figuur 3. De algensuspensie wordt langzaam, onder laminaire stroming, door de bezinkbak gepompt. Door de opeengestapelde platenpakketten is t.o.v. de situatie in de kweekvijver de afstand die de bezinkende alg moet afleggen verkleind, en het beschikbare oppervlak vergroot. Wanneer na verloop van tijd de kranen onderaan worden geopend, kan de resulterende geconcentreerde algensuspensie worden geoogst. Deze methode van Algae Food & Fuels is bij ACRRES aanwezig en wordt onderzocht om een voorconcentratie stap voor de centrifuge te bewerkstelligen. Er hoeft nu immers minder volume te worden gecentrifugeerd, resulterend in een afname van het energieverbruik per hoeveelheid geoogste alg.



Figuur 2. Bezink-opstelling voor algen
(uit: [6])



Figuur 3. Schematische weergave van de bezink-opstelling (uit: [6])

2.3 Flotatie

Indien de algen een lager soortelijk gewicht hebben dan het groeimedium, kan gebruik worden gemaakt van flotatie, waarbij de algen naar het oppervlak drijven. Om het proces te versnellen wordt vaak gebruik gemaakt van flocculatie (zie paragraaf 2.4) en het inblazen van luchtbelletjes. Als luchtballen aan algen hechten of aan vlokken, wordt het flotatieproces enorm versneld. Nadeel is wel dat continu inbrengen van luchtbelletjes energie kost en dus kostenverhogend werkt [7, 8].

2.4 Flocculatie

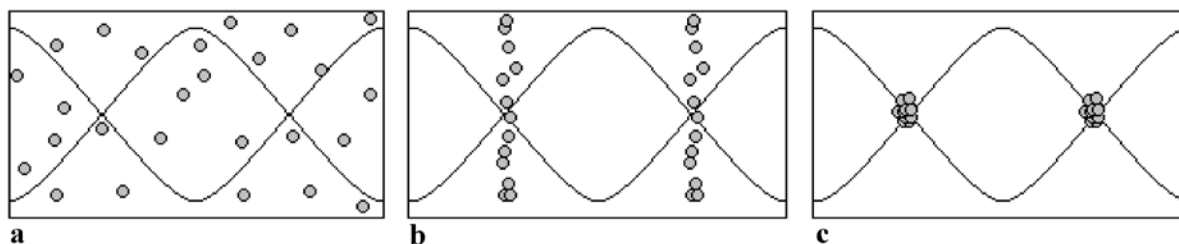
Afhankelijk van de soort en de omstandigheden, kunnen algen de neiging vertonen om vlokken te vormen. Het oppervlak van algen is doorgaans negatief geladen, wat samenklonteren tegengaat. Flocculatie is meestal gebaseerd op het verminderen of afschermen van deze negatieve lading op het oppervlak van de alg, waarna vlokking op gang kan komen.

Wanneer algen zich aggregeren in vlokken zijn deze uiteraard groter dan de afzonderlijke algen en wordt sedimentatie en flotatie enorm versneld, te meer omdat een bewegende vlok ook weer algen tegenkomt die aan kunnen hechten. Dit, in combinatie met het feit dat flocculatie in principe een proces is dat weinig energie-input vraagt – zeker in vergelijking met bijv. centrifugerende –, maakt flocculatie een interessante methode om algensuspensies te concentreren. Het idee is met name om als voorconcentratie te dienen, zodat er een veel kleiner volume hoeft te worden gecentrifugeerd.

Het verminderen of afschermen van de negatieve lading aan het oppervlak kan gebeuren door veranderingen in de omstandigheden in de algencultuur, zoals een verandering in temperatuur of pH, of een nutriëntentekort. Er kan dan worden gesproken over autoflocculatie, in tegenstelling tot chemo-flocculatie waarbij vlokmiddelen worden toegevoegd aan de algen. Braun (1993) noemt beproefde minerale flocculanten zoals aluin, $(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)$, ijzerchloride (FeCl_3) en calciumhydroxide (CaOH). Het flocculeren wordt uitgevoerd door na snelle menging 5-10 minuten langzaam te roeren, waarna een snelle flocculatie ontstaat. Door het omlaag brengen van de pH naar 6,5 - 6 kan de benodigde hoeveelheid flocculant worden verlaagd [8]. Verder worden ook ijzer, zouten, polyacrylamide, oppervlakreactieve stoffen (surfactants), chitosan, en ionen zoals Zn^{2+} , Al^{3+} , en Fe^{3+} als middelen om flocculatie te induceren, waarvan een aantal op grotere schaal worden gebruikt in afvalwaterzuiveringsinstallaties [7, 9]. Ook Stowa (2011) noemt diverse metaalzouten [3, 4].

Ook polymere vlokmiddelen worden veel toegepast, zoals kationisch polyacrylamide bij een algenpilot voor afvalwaterzuivering [10]. Een nadeel van geïnduceerde flocculatie kan zijn dat na de scheiding het groeimedium vaak behandeld moet worden om weer te kunnen worden gebruikt in de kweek [3, 4, 9]. Ook achtergebleven vlokmiddel bij de geoogste algen kan toepassing van de algen in food en feed verhinderen. Bij gebruik van food grade vlokmiddelen zoals chitosan en zetmeelderivaten wordt dit probleem voorkomen, maar het eerder genoemde nadeel van achterblijven in het te hergebruiken medium blijft [3, 4, 8, 11].

Vlokking van algen kan ook worden geïnduceerd door extracellulaire polymeren van andere micro-organismen; dit wordt bio-flocculatie genoemd. Zo is het mogelijk om niet-vlokkende algen door toevoeging van flocculerende algen toch te laten vlokken. Deze laatste toepassing zit nog in de onderzoeksfase [12]. Nog een methode om flocculatie te induceren is door gebruik te maken van ultrageluid of een elektrostatisch veld. Door blootstelling aan ultrasone geluidsgolven kunnen algen geconcentreerd worden in de knopen van de geluidsgolven, waarbij vlokking wordt bevorderd door een toegenomen aantal botsingen tussen de algen [13] (Figuur 4). Nadelen van deze methode zijn de grote hoeveelheid energie die nodig is, en lage concentratiefactor die ermee behaald kan worden in vergeten met centrifugatie en de andere flocculatiemethoden [7, 12].



Figuur 4. Principe van ultrasoon oogstproces. a) Geen ultrasoon veld; b) Het veld is net aan gezet en algen bewegen naar gebieden met lagere druk: de knopen; c) De cellen in de knopen zijn gevlokt. (uit: [7]).

2.5 Filtratie

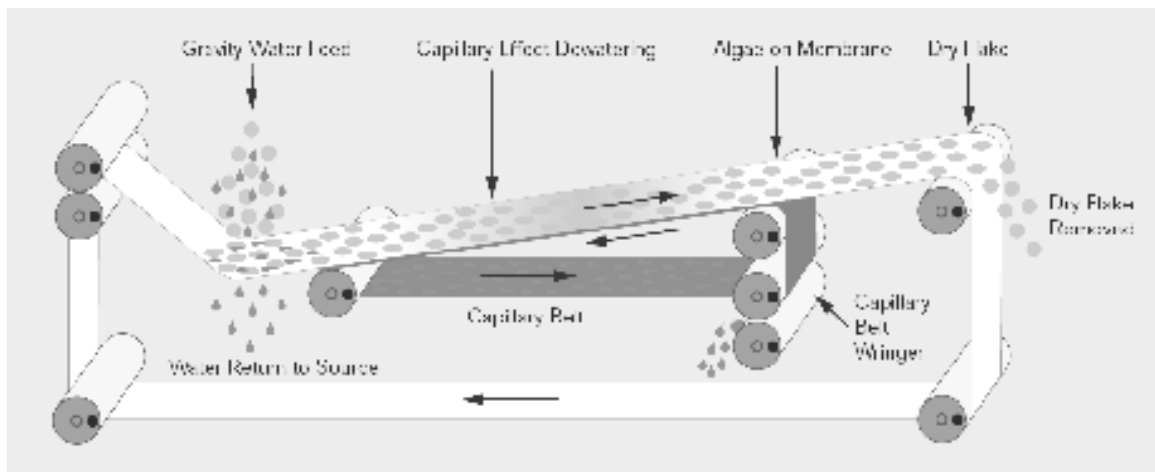
Bij filtratie wordt gebruik gemaakt van scheiding op grootte. Wanneer een algensuspensie over een geschikt filter wordt gepompt, wordt het medium doorgelaten en de algencellen niet. Een geschikt filter houdt in dat de poriegrootte niet te groot mag zijn, aangezien dit uiteraard de algen zal doorlaten, maar ook niet te klein om onnodige drukopbouw zoveel mogelijk tegen te gaan. Eén van de grote uitdagingen bij filtratie is het dichtslibben van de filter. Dit kan op verschillende manieren worden tegengegaan, zoals door een crossflow opstelling. Net als bij centrifugatie kan het ook bij filtratie gewenst zijn om eerst te voorconcentreren d.m.v. flocculatie/sedimentatie/flotatie. Hieronder worden enkele mogelijkheden voor filtratie van algen besproken.

Trommelfilters worden meestal toegepast op vrij grote schaal, bijvoorbeeld bij een algenvijver van enkele honderden m² of meer. De algencultuur wordt gevoerd naar een roterende trommel waar het medium door een filterdoek heen loopt en de algen achterblijven in de trommel.

In een STOWA project is onderzoek verricht naar de mogelijkheid om met algen nutriënten uit de overloop van de nabezinktank van een rioolwaterzuiveringsinstallatie te verwijderen. Hierbij bleek het trommelfilter een goede techniek om bij effluentpolishing de algen uit de waterfase af te scheiden [3, 4].

Een vacuümtrummelfilter, of een zeefbandpers zoals ook wordt gebruikt voor het uitpersen van vergist rioolslib zijn ook mogelijkheden, hoewel deze soms niet goed toepasbaar leken op eencellige algen. Een hulpmiddel hierbij was het coaten van het filterdoek met diatomeeënaarde (kiezelgoer) of cellulose [11, 14]. Ook membranen kunnen worden toegepast om een suspensie in te dikken en zo algen te oogsten. De poriegrootte van deze membranen ligt rond 0,1 tot enkele μm bij microfiltratie en nog 10 a 100x kleiner bij ultrafiltratie zodat bij deze laatste vaak wordt gesproken in deeltjes boven een aantal kDa die worden tegengehouden. Het dichtslibben (fouling) van membranen wordt meestal tegengegaan door toepassing van een cros-flow opstelling waarbij de suspensie door shearkrachten het membraan moet schoonhouden, of door toepassing van back wash, waarbij de vloeistofstroom kort wordt omgedraaid om aankoeien op te heffen [15, 16]. Er bestaan verschillende aangepaste toepassingen van micro- en ultrafiltratie, zoals 'submerged' micro- en ultrafiltratie gericht op reductie van de benodigde energie voor pompen [17, 18].

Een andere interessante mogelijkheid is een systeem van AlgaeVenture. Deze lijkt op een zeefbandopstelling, maar in plaats van een pers om water uit de suspensie te krijgen, wordt gebruik gemaakt van de capillaire werking van een tweede band (Figuur 5). In de eerste stap wordt de algensuspensie gefilterd door een filterband. De tweede stap houdt in dat een andere band onder tegen de eerste aan wordt gebracht. Deze tweede band ontwatert de al ingedikte suspensie verder door capillaire werking. De tweede band wordt continu uitgeperst en opnieuw gebruikt. De derde stap is een droogstap, waarna de gedroogde algen kunnen worden verwijderd en de filterband weer richting de eerste stap beweegt [7].



Figuur 5. Schematische weergave van een AlgaeVenture ontwateringssysteem (uit: [7]).

2.6 Alternatief voor oogst

Het kan ook interessant zijn om te denken aan alternatieven voor de oogst van algen. Immers, verwijderen van water uit een algensuspensie zal altijd een kostenpost zijn en het kan de moeite waard zijn om te denken aan een proces waarbij de oogst overbodig is. Een voorbeeld van een manier om dit te bewerkstelligen is het 'melken' (of 'milking') van algen zoals aangetoond bij de productie van carotenoïden met *Dunaliella salina* [19].

3 Resultaten uit praktijkprojecten

Bij deze inventarisatie is met name gekeken naar behaalde en gepubliceerde resultaten van Nederlandse praktijkprojecten waar algen gekweekt zijn op grotere schaal. De focus ligt bij de oogstmethode, maar eventueel relevante teeltinformatie wordt ook vermeld.

3.1 ACRRES project Energierijk Lelystad

In het ACRRES-project Energierijk zijn, in samenwerking met Algae Food & Fuel, begin 2012 twee algenvijvers gerealiseerd van elk 250 m²; één in de open lucht en één in een kas. In beide systemen kunnen rookgassen worden toegediend, afkomstig van een WKK die biogas verbrandt uit de aanwezige vergister. De in Energierijk gebruikte algenmix bevat de soorten *Chlorella protothecoides*, *Scenedesmus ssp.*, en *Phaeodactylum tricornutum*. De algenconcentratie in de vijver bedraagt ongeveer 0,1 g/L droge stof. Voor de oogst is in eerste instantie de bezinkopstelling (zie hoofdstuk 2.2 en Figuur 3) in combinatie met centrifugatie gebruikt. Door 5 a 6 m³ per uur te pompen door deze opstelling, waarin een klein deel van de algen bezinkt, werd in de een indikking van ongeveer een factor 5 bereikt tot een concentratie van 0,5 g/L droge stof. Deze suspensie van algen werden verder van water ontdaan in een centrifuge. Geconstateerd werd dat door het lage oogstpercentage de algencultuur in de vijvers niet optimaal kon groeien, en dat daardoor de productiviteit van de vijvers achterbleef bij verwachtingen (circa 3 ton ds/ha/jaar waar 18 ton ds/ha/jaar verwacht werd). Inmiddels (oktober 2013) wordt direct gecentrifugeerd en wordt een omgerekende opbrengst van ongeveer 10 ton droge stof per hectare per jaar gehaald.

3.2 KRW (Kaderrichtlijn Water) project Alkmaar 2009 en 2010

In dit project is onderzoek verricht naar de mogelijkheid om met algen nutriënten uit de overloop van de nabezinktank van een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) te verwijderen [3, 4]. Het onderzoek omvatte een literatuurinventarisatie, de bouw van een mathematisch simulatiemodel, laboratoriumonderzoek naar de invloed van specifieke stoffen en omstandigheden, behandeling van het effluent van de RWZI Alkmaar in een pilotreactor, formulering van ontwerpgrondslagen, en globale kostenramingen. Het praktijkonderzoek op pilotschaal is uitgevoerd in twee open vijvers van ieder 112,5 m² oppervlakte.

In 2009 is een tweetal vijvers gebruikt waarvan bij één algen uit het effluentwater werden gefilterd met een trommelfilter met een poriegrootte van 40 µm. De algen werden hierbij teruggevoerd naar de vijver. Relevante conclusies ten aanzien van algenoogst waren:

- Het effluentwater werd onvoldoende ontdaan van algen om aan de wettelijke eisen voor lozing te voldoen
- Door het terugvoeren van de algen uit het trommelfilter naar de vijver ontstond een selectiedruk. De populatie in de vijver verschoof langzaam naar de grotere algensoorten.
- Ook grazers werden een groter probleem in de vijver door terugvoer vanuit het trommelfilter.

Tijdens het vervolgonderzoek in 2010 is het trommelfilter uitgerust met een filterdoek met kleinere poriegrootte (eerst 10 µm later 20 µm). Het andere bassin is uitgerust met een nabezinkbak. Beide systemen werden dit keer gebruikt voor het verwijderen van algen uit het effluent en de geoogste algen zijn ook in 2010 teruggevoerd in de kweekbassins. Relevante conclusies ten aanzien van algenoogst waren:

- Bij een poriegrootte van 10 µm en 20 µm, en een goed werkend filtersysteem, is de algenverwijdering voldoende om te voldoen aan de wettelijke eisen voor lozing ten aanzien van zwevend stof (max 20 mg/L)
- Bij een poriegrootte van 10 µm treden vaker dan bij 20 µm storingen op in het filtersysteem.
- De nabezinktank zorgde soms voor voldoende verwijdering van algen uit het effluent, maar bleek onbetrouwbaar doordat soms algen gingen drijven.

3.3 Proefonderzoek Algenfarming (Waterstromen)

Waterzuiveringsbedrijf Waterstromen is o.a. verantwoordelijk voor de zuivering van afvalwater dat bij de industriële verwerking van aardappelen vrij komt. In samenwerking met Ingrepro en Witteveen+Bos is Waterstromen bij de Aviko-fabriek in Oldburgen een project gestart om met algen de diverse vrijkomende afvalstromen te zuiveren. Deze haalbaarheidsstudie is uitgevoerd in 3 open vijvers met een oppervlakte van 1000 m² in totaal [10].

In de praktijktest werd door gebruik van vlokmiddelen in combinatie met flotatie ofwel filtratie geoogst. De getest vlokmiddelen van Kemira zijn C-496, C498 HMW, C2260, Superfloc C494 en Superfloc C2200. In het economische model is uitgegaan van een prijs van € 4,- per kg werkzame stof. De gebruikte dosering was 10 g/kg droge stof. Er werd geoogst bij een algenconcentratie in de vijvers van 350 mg/L ds [20]. De combinatie met het trommelfilter is te weinig getest om goede getallen over de oogst te hebben. In combinatie met de flotatieunit werd een gemiddeld drogestofgehalte in het geoogste algenproduct van ongeveer 6% behaald. Het drogestofgehalte in het effluent dat weer terug naar de vijvers ging was gemiddeld 70 mg/L [20]. Dit betekent een verwijderingsrendement van gemiddeld 80%.

De aanschafkosten van de flotatieopstelling waren €1250/m² effectief oppervlak. Voor 1 hectare algenvijver is 19 m² flotatieoppervlak nodig, wat neerkomt op aanschafkosten van €23750. Het energieverbruik is 0,008 kWh/m³ en de benodigde arbeid voor een dag oogsten, met name voor het doseren van de polymeer, is geschat op een half uur. Dit laatste is wellicht te automatiseren [20].

Een interessante toepassing van een trommelfilter ligt bij de onderdrukking van grazers. Bij gebruik van een filterdoek met een poriegroote van 60 µm kon de grazerdruk op de algencultuur van *Chlorella fusca* onder controle worden gehouden. Geconcludeerd werd dat een goede grazer-filtering van de algenvijvers essentieel is voor de algenproductie, met als aanbeveling minimaal een volume gelijk aan de gehele vijverinhoud dagelijks te filteren [10].

3.4 Ecoferm

In het concept ECOFERM! staat het sluiten van kringlopen centraal [21]. De door de dieren geproduceerde CO₂, waterdamp, en lichaamswarmte worden samen met de ammoniak in de stallucht door een reactor gevoerd en benut voor de algenkweek. De afgevoerde, deels ontwaterde mest gaat naar een centrale vergister voor de productie van biogas dat vervolgens wordt verbrand in een WKK om elektriciteit op te wekken. Volgens het concept wordt kunstmest – vooral stikstof en fosfor – gebruikt voor de algenkweek. In dit project is een praktijktest uitgevoerd met kunstmest als voeding in drie open vijvers van elk 4 m² waarvan één vijver geschakeld werd met een fotobioreactor.

Het rapport geeft geen praktijkervaringen met de verwerking (downstream processing) van het algenwater, maar geeft als omschrijving het gebruik van een bezinktank, waarin met behulp van flocculant de algen bezinken. De bovenstaande vloeistof stroomt terug naar de algenvijver, terwijl de uitgevlokte algen worden ingedikt in een decanteercentrifuge. Centrifugeren levert helder water op dat, afhankelijk van de concentratie nutriënten, retour gaat naar de algenvijver of wordt geloosd. Het concentraat wordt opgeslagen in koeltanks voor verdere verwerking, of direct gebruikt voor vloeibare algenproducten. In het project zijn goede ervaringen opgedaan met een flocculant uit de Superfloc-serie van Kemira. Bijvoorbeeld Superfloc C-494 HMW heeft een prijs van € 3,- per kg [22].

4 Literatuurlijst

1. Schipperus, R., J. Spruijt, and R. Van der Weide, *Energierijk: Deelproject algenteelt*, 2013, ACRRES-Wageningen UR: Lelystad.
2. Oei, P.T., *Algencultuur op drainwater uit de glastuinbouw. Naar een pilot algenteelt voor de glastuinbouw*, 2009, Stichting H2Organic en Imares: Utrecht, Nederland.
3. STOWA, *Effluentpolishing met algen. Hoofdrapport.*, 2011, STOWA: Amersfoort, Nederland.
4. STOWA, *Effluentpolishing met algen. Deelstudierapporten*, 2011, STOWA: Amersfoort, Nederland.
5. EVODOS, *Evodos type 25*, EVODOS, Editor 2012: Breda, Nederland.
6. AF&F. *Algae Food & Fuel. Coalescer*. [web page] 2013 [cited 2013 22 oktober]; Available from: <http://www.algaefoodfuel.com/nederlands/producten/coalescer/>.
7. Chen, P., et al., *Review of the biological and engineering aspects of algae to fuels approach*. International Journal of Agricultural & Biological Engineering, 2009. **2**(4): p. 1-30.
8. Braun, A.R. and J.H. Reith, *Algen in de Nederlandse energiehuishouding*, 1993, NOVEM: Hengelo, Nederland.
9. Salim, S., et al., *Harvesting of microalgae by bio-flocculation*. Journal of Applied Phycology 2011. **23**(5): p. 849-855.
10. Verberkt, B., *Proefonderzoek Algenfarming_ Terugwinnen van stikstof en fosfaat als grondstof uit afvalwater*, 2012, Waterstromen BV: Lochem, Nederland.
11. Molina Grima, E., et al., *Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics*. Biotechnology Advances, 2003. **20**(7-8): p. 491-515.
12. Salim, S., *Harvesting microalgae by bio-flocculation and autoflocculation*, in *Agrotechnology & Food Science Group; Bioprocess Engineering* 2013, Wageningen University: Wageningen, Nederland. p. 152.
13. Bosma, R., et al., *Ultrasound, a new separation technique to harvest microalgae*. Journal of Applied Phycology, 2003. **15**(2-3): p. 143-153.
14. Sturm, B.S.M. and S.L. Lamer, *An energy evaluation of coupling nutrient removal from wastewater with algal biomass production*. Applied Energy, 2011. **88**(10): p. 3499-3506.
15. Zhang, X., et al., *Harvesting algal biomass for biofuels using ultrafiltration membranes*. Bioresource Technology, 2010. **101**(14): p. 5297-5304.
16. Babel, S. and S. Takizawa, *Microfiltration membrane fouling and cake behavior during algal filtration*. Desalination, 2010. **261**(1-2): p. 46-51.
17. Bilad, M.R., et al., *Harvesting microalgal biomass using submerged microfiltration membranes*. Bioresource Technology, 2012. **111**(0): p. 343-352.
18. Castaing, J.B., et al., *Investigating submerged ultrafiltration (UF) and microfiltration (MF) membranes for seawater pre-treatment dedicated to total removal of undesirable micro-algae*. Desalination, 2010. **253**(1-3): p. 71-77.
19. Kleinegris, D.M.M., et al., *The selectivity of milking of Dunaliella salina*. Marine Biotechnology, 2010. **12**(1): p. 14-23.
20. Verberkt, B., *Persoonlijke mededeling*, J.R.v.d. Schoot, Editor 2013.
21. van Kasteren, J., *Ecoferm! - De kringloopboerderij*, 2011, InnovatieNetwerk: Utrecht.
22. Verschoor, A., *Persoonlijke mededeling*, J.R.v.d. Schoot, Editor 2013.

