

# Biobrandstoffen uit



Dr. M. Janssen (marcel.janssen@wur.nl) is senior onderzoeker bij de leerstoelgroep Bioprocesstechnologie van Wageningen Universiteit (www.bpe.wur.nl) en scientific projectmanager bij TTIW Wetsus (www.wetsus.nl)



Ir. M.P.A. Geers is consultant bij Liandon (www.liandon.nl) en themamanager bij TTIW Wetsus (www.wetsus.nl)

Klimaatverandering. Iedereen heeft het erover en steeds meer mensen en bedrijven komen met mogelijke oplossingen. Mogelijke? Als de ridders van weleer nu zouden leven, zouden ze van gekheid niet meer weten achter wélke heilige graal ze nu eigenlijk met hun kruistochten aan moeten.

Met microalgen is het niet anders. De opbrengsten die geclaimd worden als potentieel haalbaar door verschillende bedrijven, zijn soms hoger dan wat met fotosynthese in het meest gunstigste geval haalbaar is. Toch is de algen-hype niet gebaseerd op fabels! Veel soorten microalgen kunnen vetzuren ophopen in de vorm van triglyceriden en deze vormen een ideale grondstof voor de productie van biodiesel. Microalgen hebben belangrijke voordelen ten opzichte van hun verder geëvolueerde familie, de organismen die ons landschap zo mooi groen maken: planten. Microalgen hoeven namelijk geen wortelstelsel te onderhouden en geen stam overeind te houden. Dit vertaalt zich in een berg energie verkregen uit fotosynthese die puur en alleen voor groei en vermenigvuldiging gebruikt kan worden. Microalgen zijn veelal ééncellig en moeten gekweekt worden in een waterig milieu. Dit biedt de mogelijkheid om de groeiomstandigheden veel beter te controleren, denk aan de juiste gehalten van nutriënten (stikstof, fosfor en CO<sub>2</sub>) en licht in de directe omgeving van de cellen. Dit is dan ook dé reden waarom met microalgen veel hogere opbrengsten worden gehaald dan met hogere planten.

## State-of-the-art algenkweek

Algen kunnen onder gecontroleerde omstandigheden gekweekt worden in open vijvers (figuur 1) of gesloten fotobioreactoren (figuur 2). Beide systemen vragen om mensenhanden voor de bouw en het onderhoud, en energie is nodig om de systemen draaiende te houden. Desondanks, of beter gezegd, dankzij deze meer intensieve kweek kan dus een veel hogere productie met microalgen verkregen worden dan met de traditionele landbouw<sup>1</sup>. Verder kunnen deze systemen prima op marginale gronden geplaatst worden en de productie van algen hoeft dus niet te concurreren met landbouwgrond.

Grootschalige productie van microalgen bestaat echter nog niet. Op het ogenblik worden algen op commerciële

schaal alleen gekweekt voor de productie van hoogwaardige componenten (antioxidanten, pigmenten en meervoudig onverzadigde vetzuren) en voor de productie van levend algenvoedsel voor de aquacultuur. Voorbeelden van zulke activiteiten zijn gegeven in figuur 1 en 2. Dit zijn productiesystemen in de orde grootte van enkele honderden vierkante meters aan horizontaal belicht oppervlak. Er zijn nog een aantal belemmerende factoren om de productie verder op te schalen en om te schakelen naar de productie van laagwaardige componenten zoals biobrandstoffen. Een van deze factoren is al genoemd en dat is de relatief hoge kapitaal- en energie-input voor het opzetten en draaiende houden van kweeksystemen. Later in dit artikel wordt daar dieper op ingegaan. Andere redenen zijn dat de ideale microalg die veel vetzuren in de vorm van triglyceriden ophoopt (ideaal voor de productie van biodiesel), nog niet is gevonden. Verder moet de gehele algenbiomassa gebruikt worden en moet dus ook naar de andere biomassabestanddelen gekeken worden. Dit vraagt om een integrale aanpak van het proces wat tijd en samenwerking tussen verschillende partners vereist.

Het is ondertussen bekend dat de structuur en samenstelling van microalgen te beïnvloeden zijn door zijn omgeving aan te passen. Door bijvoorbeeld de algen op dieet te zetten door bepaalde voedingsstoffen vermindert aan te bieden of geheel te onthouden, is het mogelijk deze aan te zetten tot energieopslag in de vorm van lipiden en koolhydraten. Wereldwijd wordt er hard gezocht naar productiestammen met hogere gehalten aan triglyceriden als wel naar algen die kunnen groeien onder meer extreme omstandigheden met betrekking tot pH, zoutgehalte en temperatuur. Zulke 'extremofielen' zouden het mogelijk kunnen maken de procesvoering te vereenvoudigen. Naast simpelweg zoeken naar betere stammen worden bestaande lipidenrijke algen in detail onderzocht om meer inzicht te krijgen in de regulatie van de accumulatie van lipiden en triglyceriden.

(1) In de traditionele landbouw wordt maximaal 1% van het zonlicht omgezet in de chemische energie van de biomassa. In microalgen teelt is het door een meer intensievere controle van de kweekomstandigheden mogelijk de maximale fotosynthesecapaciteit te benaderen. Deze komt overeen met een fotochemische efficiëntie van 9%. In de praktijk zitten we nu nog op 3 tot 4%, maar de verwachtingen zijn hoog gespannen.

# algen

Dit biedt op termijn ook de mogelijkheid zulke stammen gericht te verbeteren.

Om het proces te kwantificeren kan gesteld worden dat met de huidige technologie in Nederland een maximale jaarlijkse opbrengst van 20.000 liter/ha hoogwaardige plantaardige olie mogelijk is. Dit is aanzienlijk meer dan de 6.000 liter olie uit oliepalmen in de tropen, op dit moment een van de meest lucratieve energiegewassen. Het probleem zit op dit moment in de kostprijs en de energie-input om deze productie te bewerkstelligen en verder op te voeren. In een interne studie uitgevoerd door de leerstoelgroep Bioprocestechnologie van Wageningen Universiteit is berekend dat een verdere opschaaling van bestaande kweeksystemen zoals algenvijvers en buizenreactoren naar 100 ha tot een kostprijs van minimaal 4 €/kg droge stof leidt. Verder is de energiebalans in de huidige systemen negatief. De marktwaarde van de hoogwaardige producten (> 100 €/kg) is echter dusdanig dat zulke kweeksystemen nooit verbeterd zijn. De laatste jaren wordt er echter door vele bedrijven (waaronder veel start-ups) en academische groepen gewerkt aan aangepaste en geheel nieuwe productiemethoden. Dit met tot doel de kostprijs met minimaal een factor 10 te verlagen en de energiebalans voldoende positief te maken om zo een alternatief te kunnen bieden voor fossiele brandstoffen. In het vervolg van dit artikel zullen een aantal belangrijke nieuwe ontwikkelingen nader worden toegelicht. Op basis van deze ontwikkelingen is onze verwachting dat deze sprong in kostprijsreductie daadwerkelijk mogelijk is.

## Nieuwe ontwikkelingen in algen massaproductie

De open vijvers zijn het meest bekend en nog steeds het meest toegepast. De 'raceway' vijver (figuur 1) is echter uitontwikkeld en opbrengsten die gehaald worden in mediterrane landen zijn maximaal  $20 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , ofwel  $70 \text{ ton ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ , wat weer overeenkomt met een fotochemische efficiëntie van 3%. Momenteel zijn er slechts enkele soorten die als monocultuur gekweekt kunnen worden in vijvers. Vooruitstrevend werk van het Israëlische bedrijf Seabiotic laat echter zien dat je ook mengcultures kunt kweken van verscheidene lipidenrijke microalgensoorten. Dit bedrijf was als eerste in staat op testschaal algenbiodiesel te produceren. De biomassadichtheid in vijvers is erg laag (0.5 tot maximaal 1 gram droge stof per liter) en het oogsten van de biomassa is een energie intensief proces. Ook op dit gebied wordt wereldwijd gezocht naar alternatieven. Wederom heeft het bedrijf Seabiotic nieuwe mogelijkheden gedemonstreerd, zoals autoflocculatie en bioflocculatie



1

Fig. 1 Algenvijver (type raceway) voor de productie van *Chlorella* door Ingrepro BV (Borculo, Nederland). De algen worden door de vijver gepompt door middel van een schoepenrad om bezinking te voorkomen en algen periodiek aan het zonlicht bloot te stellen (bodem van de vijver is nagenoeg donker)



2

Fig. 2 Buizenreactor algenkweker LGem bij het glastuinbouwbedrijf Technogrow in Made (Nederland). LGem kweekt in deze systemen van transparante plastic buizen mariene algen die rijk zijn aan omega-3 vetzuren (zogenaamde visvetzuren). Dit kan op basis van zonlicht als wel als op basis van kunstlicht. De algencultuur wordt door de buizen rondgepompt van en naar een verzamelvat waar zuurstof wordt verwijderd en nutriënten, waaronder  $\text{CO}_2$ , toegeediend

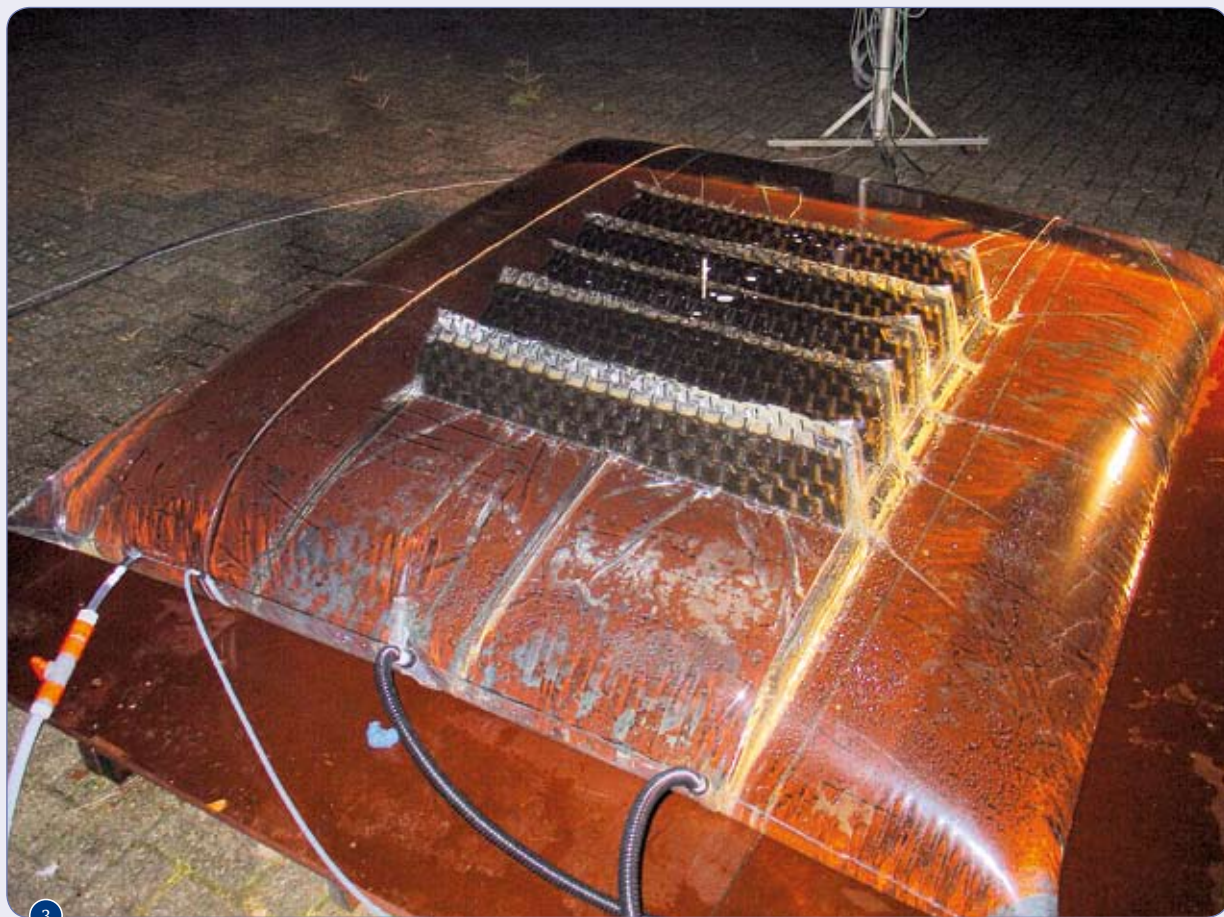


Fig. 3 Prototype van fotobioreactor van plastic folie ontwikkeld door Proviron (Hemiksem, België, [www.proviron.com](http://www.proviron.com)). Slechts 3.5 kg plastic folie volstaat voor 1 m<sup>2</sup> reactoroppervlak. In deze test wordt de microalg *Phaeodactylum tricornutum* gekweekt bij celdichtheden van 5 tot 10 g/L. De cultuur wordt gemengd door een minimale begassing (CO<sub>2</sub>-rijk gas of verbrandingsgas) van de cultuur in de verticale modules

in combinatie met een simpele filtratiestap.

Er worden ook geheel nieuwe fotobioreactoren ontwikkeld door diverse bedrijven. Zeer interessante prototypes worden momenteel getest door het bedrijf Solix in de Verenigde Staten en door het bedrijf Proviron in België. Beide systemen zijn gebaseerd op dunne maar transparante en sterke plastic folies. Proviron heeft voorgerekend dat slechts 3.5 kg plastic volstaat voor één vierkante meter reactor oppervlak. Bij een levensduur van 5 jaar schat Proviron dat de kosten voor de reactor, inclusief installatie, niet meer dan 10 €/m<sup>2</sup> zal bedragen. Het Proviron-systeem is gebaseerd op het eenvoudig weg uitrollen en onder druk brengen (opvullen met water) van de bioreactor, zie figuur 3 en 4. Een ander voordeel van deze systemen is dat de algen gekweekt worden in verticale structuren, platen, wat leidt tot lichtverdunding. Per vierkante meter grondoppervlak

kun je zo meer lichtinvangend verticaal oppervlak creëren. Deze lichtverdunding zal leiden tot een betere fotochemische efficiëntie<sup>2</sup>. De verwachting is dat met zulk een kweekstelsel een efficiëntie van minimaal 5% bereikt kan worden in mediterrane landen, wat zou overeenkomen met een productie van 120 ton droge stof per ha per jaar.

De nieuwe reactorontwerpen zoals die van Proviron zijn gebaseerd op de zogenaamde plaatreactoren zoals die in de academische wereld bestudeerd zijn door de onderzoeksgroep van Amos Richmond in Israël (Richmond, 2000) en tegenwoordig ook in de onderzoeksgroep van René Wijffels aan Wageningen Universiteit (Zijffers, 2009). Het biedt grote voordelen deze 'platen' zo dun mogelijk te maken. Door op deze manier de lichtweg te verkorten, kunnen veel hogere celdichtheden bereikt worden dan in bijvoorbeeld de vijversystemen: meer

- (2) Microalgen, en eigenlijk alle fotosynthetiserende organismen, die blootgesteld worden aan hoge lichtintensiteiten kunnen een groot deel van de ingevangen lichtenergie niet snel genoeg verwerken. Dit teveel aan licht energie wordt afgevoerd als warmte in de fotosynthetische machinerie. Dit verklaart waarom de fotochemische efficiëntie in de praktijk lager is dan het theoretische maximum van 9% gemeten onder lage lichtintensiteit in het lab. Door de lichtintensiteit aan het reactor oppervlak te verlagen, i.e. door de reactor anders te ontwerpen en een hogere verhouding tussen lichtinvangend oppervlak en reactorvolume te creëren, kan de efficiëntie verbeterd worden. Zie ook Richmond (2004).

dan 5 g/L in dunne platen tegenover minder dan 0.5 g/L in vijvers. Deze hogere productconcentratie vertaalt zich lineair in de kosten die gemaakt moeten worden voor opwerking van het product, zoals de triglyceriden.

Een andere belangrijke kostenfactor voor gesloten fotobioreactor vormt de menging van de vloeistof, de toevoer van CO<sub>2</sub> en afvoer van het product van de fotosynthese, zuurstof (O<sub>2</sub>). In veel systemen is dit geïntegreerd door de algencultuur te begassen met lucht verrijkt met koolstofdioxide of zelfs direct met verbrandingsgassen. Dit laatste heeft tot verrassend goede resultaten geleid en zelfs NO<sub>x</sub> werd opgenomen in verschillende praktijktesten. De meeste, bestaande reactorsystemen worden te hard gemengd waardoor het proces meer energie kost dan het potentieel opbrengt. Op basis van bestaande relaties voor gasoverdracht in bioreactoren (Van 't Riet en Tramper, 1991) kan echter berekend worden dat de begassing sterk gereduceerd kan worden opdat deze net voldoende is om de benodigde CO<sub>2</sub> toe te voeren en de geproduceerde O<sub>2</sub> af te voeren. Op deze manier kan berekend worden dat er een hoeveelheid elektriciteit nodig is voor de gasblazers die equivalent is aan 5% van de chemische energie die vastgelegd is in de biomassa. Dit is een aanzienlijke hoeveelheid maar is geen onoverkomelijk bezwaar.

Een beperking van het kweken van microalgen die door critici vaak aangehaald wordt, is de noodzaak voor temperatuurcontrole. Een te hoge dagtemperatuur en een te lage nachttemperatuur kunnen inderdaad de productie flink verlagen. Maar ook op dit gebied is nog veel ontwikkeling mogelijk. Algenvijvers hebben bijvoorbeeld een grote warmteopslagcapaciteit en gedurende de dag zal de temperatuur niet al te snel toenemen en gedurende de nacht kan de cultuur weer afkoelen. De plastic plaatreactoren, bijvoorbeeld ontwikkeld door Solix, worden ook ondergedompeld in een (zee)waterbad om gebruik te maken van dit buffereffect. Ook het Proviron-ontwerp kan simpelweg met water gevuld worden om in de dunne platen met algen temperatuurschokken op te vangen. Een vergelijking met de ontwikkelingen in het warmtemanagement in de Nederlandse tuinbouw is hier zeker op zijn plaats. Er worden momenteel praktijktests uitgevoerd met energieproducerende kassen. Er zijn geen fundamentele beperkingen om iets soortgelijks te doen met kweeksystemen voor microalgen en men zou misschien zelfs gebruik kunnen maken van de zonlichtenergie die niet gebruikt wordt voor de fotosynthese en die vrijkomt als warmte in de algensuspensie.

### Vooruitblik

Op basis van het voorgaande zijn wij overtuigd dat de kostprijs van algenkweek aanzienlijk gereduceerd kan worden, naar verwachting met een factor 10 ten opzichte van de genoemde 4 €/kg. Deze analyse maakt wel duidelijk dat de gekweekte microalgen niet alleen

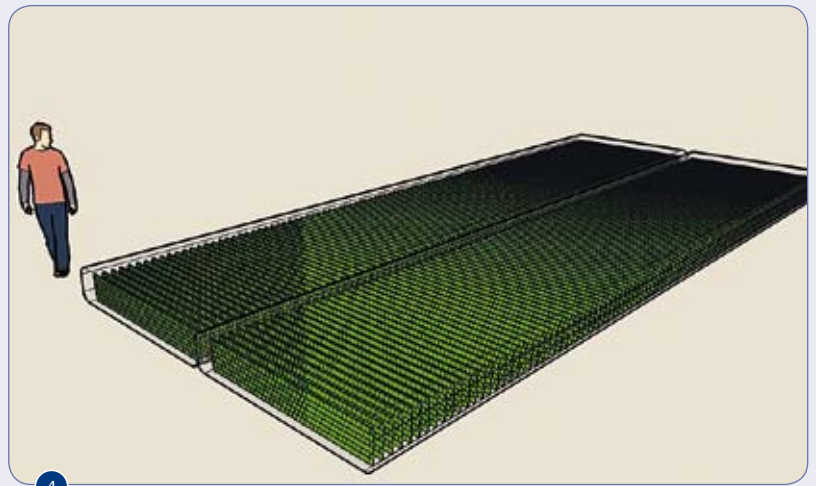


Fig. 4 Toekomstvisie van plastic folie reactormodule gemaakt door Proviron, zie ook figuur 3

gebruikt moeten worden voor de biobrandstofproductie, maar dat de overige bestanddelen zoals eiwitten en koolhydraten ook gebruikt moeten worden. Deze componenten hebben waarde voor de levensmiddelenindustrie, diervoedersector en de chemie en kunnen tevens gedeeltelijk gebruikt worden voor energierugwinning via anaerobe vergisting en/of thermische conversieprocessen waarbij de nutriënten (stikstof en fosfor) hergebruikt kunnen worden. Zoals betoogd door Chisti (2008) zou de restenergie na extractie van de lipiden fractie voldoende kunnen zijn om het productieproces draaiende te kunnen houden. In die zin representeert de geëxtraheerde lipiden fractie een netto energieproductie uit zonlicht.

Hoewel reactorontwerp en testen op dit moment vooral door commerciële bedrijven worden uitgevoerd, ligt er veel werk voor precompetitief onderzoek om de productie van biobrandstoffen uit microalgen te verwezenlijken. Om deze reden is op 23 april 2008 binnen het Technologisch Top Instituut voor Watertechnologie (TTIW) Wetsus in Leeuwarden een groot onderzoeksthema op dit gebied opgezet in samenwerking met de leerstoelgroep Bioprocestechnologie van Wageningen Universiteit. Dit thema wordt financieel ondersteund door 14 nationale en internationale bedrijven. Diverse aspecten rond de grootschalige kweek van microalgen voor biobrandstoffen worden onderzocht: CO<sub>2</sub>-toevoer, O<sub>2</sub>-afvoer, valorisatie van algeneiwitten, oogsten van microalgen, lipidenproductiviteit van microalgen en de fotochemische efficiëntie. Met deze kritische massa wordt als doel gesteld verdere doorbraken op een aantal van deze gebieden te creëren om zo de grootschalige productie van microalgen ten behoeve van biobrandstoffen en andere bulkchemicaliën mogelijk te maken. ●

Voor referenties zie [www.npt.nl](http://www.npt.nl) bij *Inhoudsopgaven*.