

polishing; a pilot scale experiment at Winterswijk, The Netherlands. Proc Int Conf 'Sewage into 2000'. Amsterdam, part 2, pp 65-76. IAWPRC, EWPCA, NVA.

Oron, G., Porath, D. & Wildschut, L. R. (1986). Wastewater treatment and renovation by different duckweed species. J Environ Enging 112: 247-263.

Oswald, W. J. (1970). Growth characteristics of micro-algae cultured in domestic sewage: environmental effects on productivity. In: Prediction and measurements of Photosynthetic Activity, pp 473-487. Proc IBP/PP Tech Meet Trebon. Centre for Agric Publ and Doc, Wageningen, The Netherlands.

Oswald, W. J. (1978). The engineering aspects of microalgae. In: Handbook of Microbiology (A I Laskin & H A Lechevalier, eds) pp 519-552. CRC Press, Boca Raton, Fla, USA.

Oswald, W. J. (1988). Micro-algae and wastewater treatment. In: Micro-algal biotechnology (M. A. Borowitzka & L. J. Borowitzka, eds), Cambridge University Press, 1988, 5-328.

Pearson, H. W., Mara, D. D., Mills, S. W. & Smallman, D. J. (1987). Factors determining algal populations in waste stabilization ponds and the influence of algae on pond performance. Wat Sci Technol 19 (12): 131-140.

Radmer, R., Behrens, P. & Arnett, K. (1987).

Analysis of the productivity of a continuous algal culture system. Biotechnol Bioeng 29: 488-492.

Ramelow, G. J., Diven, S. L., Zhang, Y., Beck, J. N., Young, J. C., Callahan, J. D. & Marcon, M. F. (1992). The identification of point sources of heavy metals in an industrially impacted waterway by periphyton and surface sediment monitoring. Water Air Soil Pollut 65: 175-190.

STOWA (1992). Bestrijding van overlast van drijflagen van Blauwvieren. Rapport 92/03.

Tsezos, M. & Bell, J. P. (1989). Comparison of the biosorption and desorption of hazardous organic pollutants by live and dead biomass. Water Research 23: 561-568.

Weissman, J. C. & Bennemann, J. R. (1979). Biomass recycling and species composition in continuous cultures. Biotechnol Bioeng 21: 627-648.

Xue, H-B., Stumm, W. & Sigg, L. (1988). The binding of heavy metals to algal surfaces. Water Research 22: 917-926.

Young, T. C., DePinto, J. V., Flint, S. E., Switzenbaum, M. S. & Edzewald, J. K. (1982). Algal availability of phosphorus in municipal wastewater. J Wat Pollut Contr Fed 54: 1505-1516.

● ● ●

Commentaar: Massacultures van algen in breder perspectief

Wiegant, Mulder en Van der Veer bespreken het gebruik van massacultures van algen voor het verwerken van huishoudelijk afvalwater. Massacultures hebben echter veel bredere toepassingsmogelijkheden dan in dit artikel wordt aangegeven. In dit commentaar zal getracht worden om vanuit een bredere benadering van de potentiële capaciteit van de alg het gebruik van massacultures nader uit te werken.

Het aantal algensoorten wordt geschat op meer dan 30.000. Tussen deze soorten bestaat een enorme variatie en celsamenstelling en fysiologie. Selectie en toepassing van deze fotosynthetische micro-organismen voor (milieu)biotechnologische doelen staan nog in de kinderschoenen.

De potentiële mogelijkheden worden onder meer geïllustreerd door de zeer grote verspreiding van algen, die niet alleen worden gevonden in alle mogelijke typen wateren, maar ook in de eeuwige sneeuw, op rotsen en in duinzand. Door een flexibel metabolisme beschikken algen over een enorm aanpassingsvermogen waarmee ze snel op veranderende milieucondities kunnen reageren. Dit uit zich onder meer door een snelle en voortdurende aanpassing van het micro-organisme aan veranderende lichtcondities, waardoor de fotosynthese-efficiëntie optimaal blijft ondanks de fluctuatie in het lichtaanbod. Het door Wiegant en mede-auteurs gebruikte model gaat uit van een statische relatie tussen invallend licht en fotosynthese en houdt geen rekening met deze aanpassingen. Dit type modellen is dan ook

niet geschikt voor het voorspellen van het gedrag van massacultures van algen over langere perioden. Om niet te vervallen in uitgebreide behandelingen van groei-modellen zal in dit commentaar alleen uitgegaan worden van op dit moment in de praktijk gevonden productiecapaciteiten en zal enigszins aangegeven worden hoe de produktiviteit verbeterd kan worden.

Het gebruik van algencultures is de laatste dertig jaar snel toegenomen. Op dit moment kunnen drie belangrijke toepassingsgebieden onderscheiden worden:

- de biologische vastlegging van zonne-energie en CO₂;
- de zuivering van verschillende typen huishoudelijk en industrieel afvalwater;
- de winning van producten, waarbij het kan gaan om bulkproducten (energie-dragers, voedingsstof voor aquacultuur, veevoer, voedingssupplementen) en fijn-chemicaliën met uiteenlopende toepassingen waaronder pigmenten (β-caroteen en andere carotenoiden zoals astaxanthine en canthaxanthine, phycobiliproteïnen), industrieel toepasbare koolhydraten en farmacologisch actieve stoffen.

De grote belangstelling voor het gebruik van algen voor het zuiveren van afvalwater en het fixeren van CO₂ en energie komt vooral voort uit de hoge groeisnelheid en de grote efficiëntie waarmee algen zonlicht vastleggen in biomassa. In tabel I wordt een overzicht gegeven van de produktiviteit van de High Rate Algal Pond onder de Nederlandse klimatologische condities in vergelijking met de produktiviteit van een aantal belangrijke agrarische gewassen.

TABEL I – Produktiviteit van algencultures in vergelijking met verschillende andere gewassen in Nederland (NOVEM, 1993).

Gewas	Productie in tonnen droge stof per ha-jaar	Bruto energie-inhoud in GJ per ha-jaar
Wintertarwe (zaad)	6,6	112
Wintertarwe (stro)	3,9	59
Suikerbieten (wortel)	15,1	280
Suikerbieten (loof)	5,4	-
Koolzaad (zaad)	3,7	101
Koolzaad (stro)	5,3	80
Populier	15,0	270
Miscanthus	16,0	272
Algen*	30-32	690-736

* Voor een groeiseizoen van 240 dagen (maart tot en met oktober).

De in de tabel genoemde produktiviteit van 30 ton per ha kweekoppervlak wordt behaald in 240 dagen (maart tot en met oktober) en bij een fotosynthese-efficiëntie van 5% van het zichtbaar licht. Laws *et al.* [1988] rapporteerden echter al fotosynthese efficiënties in vijvers van 9,6%. Daarnaast kan door het gebalanceerd kweken van algen de respiratie sterk verlaagd worden, hetgeen de netto-productie verder kan verhogen. Ook Kroon *et al.* [1989] tonen aan dat door optimalisatie van de kweek de efficiëntie aanzienlijk kan worden opgevoerd. Een verdubbeling van de produktiviteit tot 60 ton droge stof per ha per jaar behoort tot de mogelijkheden.

De elementaire samenstelling van een algecel verschilt niet aanzienlijk van die van ander plantaardig materiaal zoals gras. Door de hogere produktiviteit kan de algenvijver per oppervlakte-eenheid echter aanzienlijk meer nutriënten verwerken dan land in agrarisch gebruik. Van groot belang is ook dat de verhouding waarin de nutriënten worden opgenomen in algenbiomassa (N/P ratio) gekenmerkt wordt door een hoge flexibiliteit. Dit betekent dat hoge verwijderingspercentages kunnen worden gerealiseerd over een brede range van samenstellingen van de toegevoerde afval(water)stroom. Het gebruik van algencultures voor het verwerken van mestoverschotten ligt dan ook voor de hand. In de loop van deze reactie wordt hierop teruggekomen.

Door Wiegant en mede-auteurs wordt ingegaan op het gebruik van de massacultuur van algen voor het verwerken van huishoudelijk afvalwater. Deze methode wordt in Californië, Israël en in verscheidene tropische landen veelvuldig toegepast. Het grote voordeel van deze methode is dat het fosfaat- en stikstofgehalte van het effluent tot zeer lage waarden (1-10 µgram P respectievelijk 10-50 µg N per liter) kan worden terug-

gebracht. Nadelen zijn het grote ruimtebeslag van het systeem en de seizoensgebondenheid ervan. Dit kan voor het verwerken van huishoudelijk afvalwater een probleem opleveren. Over het algemeen beschikt het agrarisch bedrijf echter over een aanzienlijke opslagcapaciteit voor mest, waarmee de ongunstige periode overbrugd kan worden. Daarnaast speelt hier het ruimteprobleem een geringere rol. Door de gekweekte algen te gebruiken als veevoedsupplement kan een gedeeltelijk gesloten nutriëntenbalans verkregen worden waardoor bespaard kan worden op de aanvoer van voedergewassen.

De belangstelling voor het gebruik van de HRAP bij het verwerken van mestoverschotten in de intensieve veehouderij neemt snel toe. Door sedimentatie of met mechanische methoden wordt de mest hierbij gescheiden in een vloeibare component en een vaste component. De vloeibare fractie komt in aanmerking voor de verwerking in de algenvijver.

Bij de huidige stand van de kennis kan per ha algenvijver per jaar 450 kg P en 4.500 kg N worden vastgelegd, bij een BZV-verwijdering van meer dan 95%. De vloeibare fase van de mest bevat ongeveer 110 mg P en 2.000 mg N per liter. Dit betekent dat per ha per jaar 2.500-4.000 m³ mest verwerkt kan worden. Zonder mechanische scheiding kan 25% van de mest als vloeibare fase gebruikt worden in de algenvijver. Bij een mestproductie van 10.000 m³ per jaar zou dus een algenvijver van 1 ha voldoende zijn om de netto-mestproductie met 25% te verminderen. Door optimalisatie van de kweek is het naar verwachting mogelijk de productie van de vijver, en daarmee de verwerkingscapaciteit, te verdubbelen. Bezwaren zoals door Wiegant en mede-auteurs genoemd voor het verwerken van huishoudelijk afvalwater spelen bij bedrijfsgebonden verwerking van mest geen rol:

- de lagere verwerkingscapaciteit in de ongunstige perioden kan worden opgevangen in de (reeds aanwezige) opslag, waardoor de overdimensionering van het systeem niet nodig is;
- verontreiniging met zware metalen en xenobiotische stoffen kan voorkomen worden;
- de geproduceerde biomassa kan gebruikt worden als voedersupplement, waardoor van een slibprobleem geen sprake is.

Het systeem biedt een aantal praktische voordelen:

- door het grote aanpassingsvermogen van de algen en het geringe aantal

bewegende delen in het systeem is de bedrijfszekerheid zeer groot;

- het N- en P-gehalte van het effluent is zeer laag en voldoet aan de strengste normen;

- de benodigde hoeveelheid fossiele energie is gering: per m³ verwerkte mest is het energieverbruik slechts 3% van dat in de centrale mestverwerking.

Tenslotte willen wij ingaan op het oogsten van de algen. Dit is van oudsher een technisch en – vooral – economisch obstakel, zoals ook door Wiegant en mede-auteurs wordt aangegeven. Op dit gebied is echter recent veel verbeterd onder meer door de ontwikkeling van organische flocculant (bijvoorbeeld zetmeelderivaten) en andere flocculatiemethoden waaronder bio- en autoflocculatie, waarbij in het geheel geen flocculatiemiddelen hoeven te worden toegevoegd. Voor verdere ontwatering lijken bij de huidige kennis vooral membraan-filtratie (onder andere 'cross-flow' filtratie) en zwaartekrachtfiltratiemethoden een gunstig perspectief te bieden. We moeten ons echter realiseren dat voor verschillende toepassingen van de algenbiomassa, waaronder het gebruik als toeslag in het veevoer (of de extractie van fijnchemicaliën), geen verregaande ontwatering nodig is.

Uit het voorgaande kan geconcludeerd worden dat de algentechnologie goed aansluit bij het concept 'duurzame technologische ontwikkeling', zowel voor de productie van fijnchemicaliën als voor het oplossen van een aantal milieuproblemen. Het potentieel van een combinatie van milieufunctie(s) en produktwinning is daarbij duidelijk aanwezig. Deze argumenten hebben een belangrijke rol gespeeld bij de beslissing dat het milieuonderzoeksinstituut ARISE van de Universiteit van Amsterdam de komende jaren veel aandacht zal besteden aan de verschillende aspecten van de optimalisatie van de massacultuur van algen.

Prof. dr. L. R. Mur

Drs. J. H. Reith

Universiteit van Amsterdam

Referenties

- Kroon, B., Ketelaars, H., Fallowfield, H. & Mur, L. (1989). *Modelling microalgal productivity in a High Rate Algal Pond based on wavelength dependent optical properties*. Journ. appl. Phycol. 1:247-256.
- Laws, E. A., Taguchi, S., Hirata, J. & Pang, L. (1988). *Mass culture optimization studies with four marine microalgae*. Biomass 16:19-32.
- NOVEM (1993). *Algen in de Nederlandse energie-huishouding*. Studie in het kader van het programma Energiewinning uit Afval en Biomassa (EWAB), Juli 1993. Contractnummer: 355230/0210.



Nawoord van de auteurs

'Op de reactie van Mur en Reith op ons artikel willen wij kort reageren. Allereerst doet het ons genoegen dat Mur en Reith onze bevindingen niet bestrijden. Een enkele kanttekening willen wij graag plaatsen bij de door Mur en Reith gegeven beschouwing. Dat statische modellen niet geschikt zijn voor het voorspellen van het gedrag van algencultures over langere perioden, neemt niet weg dat ze zeer goed zijn te gebruiken voor het voorspellen van de haalbare produktie van algencultures. Mur en Reith gaan in op allerlei mogelijke toepassingsmogelijkheden van algen en dat die mogelijk of denkbaar zijn wordt door ons niet ontkend. De kennelijke wens om met algencultures te werken leidt wel tot een voorstelling van zaken die naar onze mening op enigszins gespannen voet staat met de realiteit. De produktie van 60 ton droge stof per ha die als 'behorend tot de mogelijkheden' wordt aangegeven komt neer op een produktie van 25 g·m⁻²·d⁻¹. Deze produktie verschilt niet van de produktie die in ons artikel als uitgangspunt wordt genomen. Het probleem van de massacultuur van algen is dan ook niet zozeer de produktie die behaald kan worden, maar de moeilijkheden die de realisatie van deze produktie met zich mee brengen. Het kweken van algen vereist enorme oppervlakten die ondiep moeten zijn. Dat brengt technologische problemen met zich mee.

Zo is het verwerken van 10.000 m³ mest per jaar, dat is de mestproductie van een (groot) bedrijf met een capaciteit van circa 8.000 mestvarkens, in een vijver van 1 ha om slechts 25% van de mest te verwijderen een weinig realistische optie. Alleen al de kosten van de vijver zouden zo'n f 1.000.000,- bedragen exclusief de grondkosten. Rente en afschrijving zouden bij benadering voor f 9,- per m³ op de verwerking van een kwart van de mest drukken. Dan is er met de rest van de mest, die het grootste deel van de organische vervuiling bevat, nog niets gebeurd. Het verwerken van een op mest gebaseerd produkt in veevoeders is een zaak die overigens nog wel enige gewinning van de consument zou vergen. Naar onze smaak is het ernstig de vraag of dat in EG-verband ooit toegestaan zal worden: bedrijven die kippemest verwerken door middel van compostering hebben in het nabije verleden al voor hetzelfde probleem gestaan. Daarbij komt, dat het afvalwater weliswaar voor een groot deel, maar niet volledig van BZV ontdaan zal zijn. Er is nog steeds geen 'loosbaar' effluent ontstaan (zouten, zware

metalen), zodat het afvalprobleem er, met de verdunning die deze manier van verwerken met zich meebrengt, niet kleiner op zal zijn geworden.

De problematiek van het afscheiden van de algen in de concentraties waarin de aangegeven hoge producties behaald kunnen worden (meestal lager dan 1 g/l) wordt door Mur en Reith enigszins gebagatelliseerd. De verbeteringen die door hen worden aangegeven dienen alle hun levensvatbaarheid in de praktijk te bewijzen. Wel is het zo dat verwerking in veevoer hoe dan ook wel degelijk verregaande ontwatering zou behoeven, omdat de algenproductie aan de hoeveelheid zonlicht gebonden is en de groei van vee niet. Vraag en aanbod kunnen even groot zijn, maar zullen zeker niet synchroom lopen. Indien het materiaal niet goed ontwaterd wordt zal gisting optreden, die de aantrekkelijkheid als veevoeder er niet op zal vergroten.

Al met al kan geconcludeerd worden dat het optimisme van Mur en Reith voorbarig is. Algen hebben wel degelijk een zeker potentieel, maar dat dit in de verwerking van afval(water) onder gematigde klimaatcondities ook het geval is is naar onze mening niet realistisch.

W. M. Wiegant

J. W. Mulder

B. van der Veer

● ● ●

Symposium Automatisering van de waterbeheersing

De werkgroep automatisering van het KivI/KGvL en de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) organiseren op 19 januari 1995 in de Reehorst te Ede het symposium 'Automatisering van de waterbeheersing. Meten, transmissie en verwerken van informatie. Deze dag vormt de afsluiting van een in 1993 en 1994 gehouden KivI/KGvL lezingen-middagencycclus.

Het accent op dit symposium ligt bij meten, datatransmissie en -opslag, gegevensverwerking en -presentatie in het waterbeheer. In het ochtendprogramma zullen de sprekers de huidige en toekomstige technische mogelijkheden op de bovengenoemde thema's bespreken.

's Middags gaan drie waterbeheerders in op de 'waarom vraag van het automatiseren'; dit aan de hand van een voorbeeld uit hun praktijk.

Het hoogtepunt van de dag vormt de afronding van het eerste specifiek op de waterkwantiteitbeheerder gerichte STOWA-onderzoek door het aanbieden van het 'Handboek debietmeten in open

waterlopen' aan de voorzitter van de STOWA.

De presentatie van de resultaten van een onder de waterbeheerders gehouden enquête 'naar de wijze waarop waterschappen het waterbeheer in de praktijk automatiseren' zal een goed inzicht geven in de stand van zaken onder de Nederlandse waterbeheerders.

Parallel aan dit symposium wordt een tentoonstelling gehouden waar leveranciers, aannemers en ingenieurbureaus zich kunnen presenteren, tevens zijn de bij de organisatie bekende leveranciers verzocht om een bondig bedrijvenprofiel. Nadere inlichtingen: Congresbureau van het KivI, antwoordnummer 483, 2501 VB Den Haag, telefax 070-391 98 48.

Regering houdt vast aan fosfaatbeleid

Het ministerie van milieubeheer ziet geen enkele reden het overheidsbeleid met betrekking tot de bestrijding van de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater te wijzigen. Het departement wil de norm voor de belasting van de rivieren, meren en de zee met de meststof dan ook niet versoepelen.

Hiermee reageert het ministerie op de uitkomsten van een onderzoek van TNO waaruit blijkt dat niet zozeer fosfaat als wel giftige stoffen de oorzaak zijn van de algengroei in het water. Op grond van zijn bevindingen zegt M. Scholten van het TNO Laboratorium voor Toegepast Marine Onderzoek in Den Helder weinig grond meer te zien voor een voortzetting van het meststoffenbeleid van de overheid. De experimenten van de TNO-medewerker laten zien dat schoon water, dus zonder giftige stoffen zoals zware metalen en onkruidbestrijdingsmiddelen, met heel veel meststoffen belast kan worden voordat er overmatige algengroei optreedt. Wanneer men fosfaat of stikstof aan verontreinigd water toevoegt, is de grens heel gauw bereikt.

Gebleken is namelijk dat watervlooiën, die zich met algen voeden, de gifstoffen niet of slecht overleven. Als er dus minder watervlooiën zijn, hebben de algen vrij spel. Dit toont volgens Scholten aan dat de giftige stoffen indirect verantwoordelijk zijn voor een verhoogde groei van algen. De resultaten van het TNO-onderzoek worden bevestigd door de universiteit Savoie in het Franse Chambéry en die van Alicante in Spanje. Op grond van de gezamenlijke bevindingen komt Scholten tot de conclusie dat de invoering van fosfaatvrije wasmiddelen weinig invloed heeft gehad op de kwaliteit van het oppervlaktewater. Het zou volgens hem veel effect-

tiever zijn geweest rivieren, meren en de zee te zuiveren van giftige stoffen om overmatige algengroei te voorkomen. De door de overheid gestelde normen voor de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater moeten dus worden bijgesteld, zo meent de TNO-medewerker.

Een woordvoerder van VROM blijft erbij dat meststoffen, zij het in grote hoeveelheden, algengroei bevorderen. 'De overheid blijft zich daarom inzetten voor de bestrijding van fosfaten, alsook die van giftige stoffen'.

Voorts merkt het departement op dat TNO bij het onderzoek geen rekening heeft gehouden met de aanwezigheid in het water van vissen die watervlooiën eten. Deze kunnen de balans tussen algen en watervlooiën beïnvloeden. Scholten geeft toe dat dit aspect bij de experimenten buiten beschouwing is gelaten. Maar allerlei andere onderzoeken in het veld hebben volgens hem voldoende bewijs opgeleverd dat watervlooiën heel gevoelig zijn voor giftige stoffen. Zij vallen het eerst als slachtoffer aan deze verontreiniging. Als gevolg daarvan verdwijnen ook de watervlo-etende vissen. Scholten blijft er daarom bij dat het evenwicht niet door de vissen, maar door het afsterven van watervlooiën als gevolg van de vergiftiging door zware metalen en bestrijdingsmiddelen wordt verstoord.

'Ik wil niet zeggen dat we nu weer volop met fosfaten moeten gaan wassen, maar men hoeft zich daarvoor ook niet te schamen. Voor de bescherming van het milieu is het veel beter dat mensen minder agressieve schoonmaakmiddelen gebruiken of hun gazon niet met een bestrijdingsmiddel bewerken', aldus Scholten. De Stichting Natuur en Milieu vindt dat de TNO-onderzoeker zijn beweringen op zeer magere grond baseert. Ander wetenschappelijk onderzoek zou volgens de milieu-organisatie overduidelijk hebben aangetoond dat fosfaat in een groot aantal gevallen de cruciale factor is voor de algenbloei. De stichting, die zegt te spreken namens andere milieu-organisaties, geeft Scholten wel gelijk als hij stelt dat de schade aan het watermilieu door bestrijdingsmiddelen ernstig wordt onderzocht.

De fabrikanten van wasmiddelen zien in het onderzoek geen enkele aanleiding fosfaten opnieuw te gaan gebruiken. 'Wij hebben ons destijds steeds verzet tegen de vervanging van fosfaten in wasmiddelen. Maar inmiddels hebben wij ze in nauw overleg met de overheid vervangen door andere stoffen die geheel veilig voor het milieu zijn', zegt directeur J. van Hoogstraten van de Nederlandse Vereniging van Zeepfabrikanten. (ANP)