

Varswateralge en die ekonomie

W.E. Scott* en T. Zohary

Divisie vir Watertegnologie, WNNR, Posbus 395, Pretoria 0001

Ontvang 16 Junie 1988; aanvaar 6 Julie 1988

UITTREKSEL

Die artikel bespreek die ekonomiese belang wat varswateralge alreeds het en hul moontlike verdere ontginning in die toekoms. Sowel gewenste as ongewenste aspekte word oorweeg en hoofsaaklik met voorbeelde uit Suid-Afrika geïllustreer.

Die oormatige ontwikkeling van ongewenste alge in varswater verlaag die watergehalte deur verskeie chemiese veranderinge, wat kan wissel van smake en geure tot die produksie van verbindings wat gesondheidsgevaare vir mens of dier inhou. Verwydering van ongewenste alge dra aansienlik by tot die koste van waterbehandeling. Oormatige algegroei belemmer ontspanningsgebruik en kan eiendomswaardes langs rivier- en damoewers beïnvloed.

Indien daar genoeg lig beskikbaar is, kom biobevuiling deur alge op byna enige plek waar water in kontak met 'n vaste oppervlakte is, voor. Werklike onkoste en verliese as gevolg van algiobevuiling is moeilik om te bereken. Die omset van net swembadchemikalieë in Suid-Afrika is tans meer as R70 miljoen per jaar.

Die taksonomiese verskeidenheid van alge word weerspieël in die groot aantal metaboliese produkte wat verskillende spesies kan produseer, en in hul aanpasbaarheid by verskillende groeitoestande wat dit moontlik maak om hulle chemiese samestelling te manipuleer. Nuttige chemikalieë afkomstig van alge sluit proteïene, vitamien, pigmente, vetsure, farmaseutiese middels en brandstof in. Terselfdertyd kan alge ook 'n bydrae maak om verskillende soorte afvalwater te behandel. Verdere navorsing en ontwikkeling van nuwe tegnieke sal tot gevolg hê dat alge in die toekoms 'n groter rol in die ekonomie sal speel.

ABSTRACT

Freshwater algae and the economy

This article discusses the current economic importance of fresh water algae and possibilities of exploitation of algae in the future. Desirable and undesirable aspects are considered and illustrated with examples mainly from South Africa.

The excessive development of undesirable algae in freshwater adversely affects the water quality by a number of chemical changes which can vary from tastes and odours to production of substances that constitute a threat to human or animal health. Removal of unwanted algae adds considerably to the costs of water treatment. Excessive algal growth impairs recreational activities and affects shoreline property values.

Algal biofouling occurs when water is in contact with a surface and light is available. Real costs and losses as a result of algal biofouling are difficult to estimate. In South Africa the turnover of swimming pool chemicals alone is more than R70 million annually.

The wide taxonomic diversity of algae is reflected in their metabolic diversity and their adaptability to different growth conditions allowing manipulation of their chemical composition. Algal metabolites of commercial interest are proteins, vitamins, pigments, fatty acids, pharmaceutical compounds and fuels. Algae can play a role in different types of waste water treatment. Additional research and the development of new techniques will result in the increased economic importance of algae in the future.

INLEIDING

Die alge is 'n uiteenlopende groep plante wat tot ten minste nege duidelik onderskeibare groepe behoort. Daar is etlike duisende algspesies, wat wissel in vorm van mikroskopiese enkelselle — nie veel groter as bakterieë nie — tot reusagtige seewiere met lengtes van by die 60 meter. Soos ander plante is alge primêre produseerders wat lig, koolstofdioksied, water en minerale voedingstowwe nodig het om te groei. Die alge is 'n noodsaaklike komponent van waterlewe en dien as suurstof- en voedselbron vir die sekondêre produseerders. Watermassas sonder alge kan as dood beskou word — 'n goeie voorbeeld is die Dooie See.

Sekere alge skep probleme wanneer daar oorma-

tige en ongewenste hoeveelhede ontwikkel, veral as gevolg van eutrofikasie. Eutrofikasie word veroorsaak deur die verryking van waterbronne met plantvoedingstowwe, hoofsaaklik nitrate en fosfate.¹ Die proses word versnel deur menslike aktiwiteite soos nywerheidsontwikkeling en verstedeliking in die opvanggebiede van die waterbronne. Intensiewe landboupraktyke dra ook by tot verryking deur middel van afloopwater na toediening van kunsmis. Nie net alge nie, maar ook ander waterplante soos waterhiasinte (*Eichhornia crassipes*) en die Kariba-onkruid (*Salvinia molesta*) kan in sekere omstandighede deur eutrofikasie gestimuleer word.

Die oorgrote meerderheid van Suid-Afrika se drink-, nywerheids- en besproeiingswaterbehoefte word vanuit damme en reservoirs voorsien. Daar is bereken dat die wateraanvraag die huidige bronne

*Outeur aan wie korrespondensie gerig kan word

teen die jaar 2010 sal oorskry. Die ontwikkeling van nuwe waterbronne soos die Lesothohooglandprojek en die verdere ontginning van die ondergrondse watervoorrade is dus noodsaaklik om ekonomiese groei in Suid-Afrika te handhaaf. Die beperkte watervoorrade moet gevolglik teen eutrofikasie en ongewenste algroei beskerm word.

ALGVERWANTE PROBLEME IN DRINKWATERBRONNE

Een of meer van die volgende probleme kan geïdentifiseer word in damme of ander waterbronne waar oormatige hoeveelhede alge ontwikkel:

- Verhoogde waterbehandelingskoste om drinkbare standaarde te bereik, deurdat meer chemikalieë benodig en filterlooptye verkort word.
- Ontsmetting van algbevattende water met chloor het tot gevolg dat trihalometane gevorm word. Hierdie verbinding is bekend daarvoor dat hulle karsinogenies is.
- Ontwikkeling van ongewenste smake en geure in drinkwater.
- Estetiese onaanvaarbaarheid van onooglike drywende alge het 'n negatiewe invloed op ontspanningsgebruik soos swem, seil, roei, motorbootry, waterski en hengel.
- Veeverliese as gevolg van vergiftiging deur toksiene wat deur sekere blougroen alge (ook bekend as sianobakterieë) geproduseer word.
- Uitputting van suurstof in dieper gedeeltes van damme as gevolg van ontbinding, het nadelige effekte op organismes wat suurstof nodig het. Dit kan ongewenste chemiese veranderinge soos die vrystelling van yster, mangaan en fosfaat veroorsaak.

BEHANDELINGSKOSTE

Viljoen en Haynes² het in 1985 die koste van verskillende waterbehandelingsopsies onder omstandighede van verhoogde algroei beraam. Hierdie beramings is gebaseer op die bestaande Randwaterraad-fasiliteite by die Vaalrivier-Barrage-sisteem, Suid-Afrika se enkele belangrikste watervoorsiener. Deur te aanvaar dat bykomstige behandeling nodig sou wees vir 50% van die bedryfstyd van 'n 600 000 m³/dag-aanleg, is die volgende totale koste in sent/m³ bereken:

Voorchlorering	0,32
Chloordioksiedbehandeling	0,42
Gebruik van mikrosiwwe	1,59
Geaktiveerde koolstofbehandeling	2,68

As hierdie waardes omgerekend word na jaarlikse bedryfskoste, bedra voorchlorering R700 800 en geaktiveerde koolstofbehandeling R5 869 200 per jaar. Werklike koste vir die verbruiker sal nog hoër wees, aangesien hierdie beramings nie die bestaande gewone bedryfskoste en bykomstige mannekragbehoefte insluit nie.

Met die waargenome vermeerdering van algiomassa in die Vaalrivier-Barrage-sisteem in die tydperk 1974 tot 1985 as basis, kan geprojekteer word² dat bykomstige behandeling teen die jaar 2000 in

werklikheid 100% van die bedryfstyd nodig gaan hê. Die onlangse wetgewing om eutrofikasie te beheer deur die fosfaatkonsentrasies in uitvloeiels tot minder as 1 mg/l te beperk, sal oor die algemeen 'n vermindering in die alginhoud in Suid-Afrika se damme tot gevolg hê. Deur toepassing van hierdie wetgewing sal bykomstige behandeling by die Vaalrivier-Barrage-sisteem teen die jaar 2000 waarskynlik vir net 30% van die bedryfstyd nodig wees.

Alhoewel voorchlorering teen huidige pryse oënskynlik die goedkoopste behandelingsproses is, is dit nie die mees gewenste metode nie, omdat chlorering van alge trihalometaanvorming tot gevolg het. Om van die ongewenste trihalometane ontslae te raak, sal die duurder opsie, geaktiveerde koolstofbehandeling, noodsaaklik wees.

MICROCYSTIS-DRYFLAE

Die kosmopolitiese blou-groen alg *Microcystis aeruginosa* kom dwarsdeur Suid-Afrika voor en kan in feitlik enige dam met 'n alkaliese pH verweg word. *M. aeruginosa* het 'n natuurlike dryfvermoë, sodat die alg selektief op of naby die oppervlakte van selfs troebel damme kan groei, waar daar andersins onvoldoende lig beskikbaar is om die ontwikkeling van ander soorte alge toe te laat. Wanneer toestande gunstig is, kan daar groot oppervlakte dryflae van *Microcystis* ontwikkel. Die ergste bekende geval van sodanige dryflae is by die Hartbeespoortdam in 1983 gevind,³ waar die dryflaag met die tekstuur van dik pap tot 1 meter diep oor 'n oppervlakte van 20 000 m² gestrek het. Die ontwikkeling en uiteindelijke ontbinding van dryflae gaan gewoonlik gepaard met onaanvaarbare smake en geure in die water.

ONTSPANNINGSKOSTE

Die potensiële nadelige gevolge van oormatige algroei op ontspanning is in die Barrage-omgewing deur Viljoen en Hayes ondersoek.² Hulle het bereken dat die 1984/85-waarde van bootritte, hengel en oewerontspanning ongeveer R13,5 miljoen is. 'n Vermindering van 25% in ontspanningsaktiwiteit sou dus 'n finansiële verlies van R3,37 miljoen beteken. 'n Verswakking in watergehalte sal ook 'n verlaging in oewereieningspryse tot gevolg hê. Slegs 'n 5%-vermindering sal eiendomswaardes in die Barrage-omgewing met R11 miljoen laat val.

TOKSIENE

Die sporadiese voorkoms van giftige alge veroorsaak gesondheidsprobleme. Stamme van *M. aeruginosa* kan 'n groep kragtige lewertoksiene, bekend as *sianoginosiene*, produseer.⁴ Sianoginosienkonsentrasies in *Microcystis*-dryflae op Hartbeespoortdam het oor 'n viermaandeperiode in 1985 van nul tot 250 mikrogram toksien per gram gedroogde alge gewissel.⁵ Daar is tans nog onvoldoende inligting oor toksienkonsentrasies in damme waar *Microcystis* voorkom en ook die werklike gevare verbonde aan hierdie toksiene. Verdere navorsing en verbeterde toksienbepalingsmetodes behoort binne afsienbare tyd 'n beter insig op hierdie probleme te gee. In

Maart 1987 het 47 beeste gevrek nadat hulle giftige *Microcystis* in Rietkuilpan naby Bethal gedrink het.⁵

VOORDELIGE ASPEKTE

Verhoogde alggroei as gevolg van eutrofikasie het ook 'n nut, aangesien die hoër primêre produksie 'n verhoogde sekondêre produksie tot gevolg het. Die ontginning van visboerdery as 'n bykomstige proteïenbron in eutrofedamme het 'n potensiaal wat verdere ondersoek regverdig. Verder kan die plantvoedingstowwe teenwoordig in eutrofewater as gratis kunsmis beskou word vir boere wat met hierdie water besproei.

BIOBEVUILING

Die probleme wat met eutrofikasie verband hou, soos hierbo bespreek, is meestal gekoppel aan planktoniese alge. Die ontwikkeling van bentiese alge, vasgeheg aan omtrent enige soort oppervlakte, is dikwels 'n plaag wat meer esteties van aard is. In Suid-Afrika is die bekendste voorbeeld waarskynlik die ontwikkeling van alge en geassosieerde mikro-organismes wat die kante van swembaddens ontsier. Chemikalieë om swembadprobleme te behandel het 'n omset van meer as R70 miljoen per jaar in Suid-Afrika.

Die ontwikkeling van vasgehegde alge in oop besproeiingskanale kan so erg word dat dit watervloei belemmer, met die gevolg dat gewasse 'n verminderde opbrengs toon. Die groen alg, *Cladophora* sp, het kanale benede die Hartbeespoortdam tot so 'n mate verstop dat die Departement van Waterwese teen 1979 verplig was om die alge teen 'n arbeidskoste van R50 000 per jaar te verwyder.⁶ Koste is in 1980 met ongeveer die helfte besnoei deur die alge met 'n kombinasie van swaelsuur en kopersulfaat te behandel.

Vasgehegde alge veroorsaak ook probleme deur bote of ander voorwerpe wat in die water gelaat word, te bevuil. Dit is moeilik om die werklike koste verbonde aan bevuiling van bote te bepaal. In die oseane kos biobevuiling van skepe biljoene rande; eerstens aan onderhoud, skoonmaak en verf en tweedens deur verlies van tyd en brandstof, aangesien die bevuiling die vaart van skepe vertraag en gevolglik brandstofverbruik verhoog.

Algbiobevuiling is ook 'n probleem in verkoelings-torings en in sekere industrieë, bv. in die pulp- en pierversaamstelling. Die Suid-Afrikaanse Buro vir Standaarde is tans besig om standaardspesifikasies vir algdoders op te stel met die doel om sulke probleme te hanteer. Klagtes oor alge wat drupbevoeiingsisteme en sprinkelaars verstop, het in die afgelope jare by die Divisie vir Watertegnologie uitgekóm. Hierdie probleme kon deur chemiese behandeling opgelos word.

DIE TOEKOMSTIGE EKONOMIESE POTENSIAAL VAN ALGE

Die beperkings van grond wat geskik is vir landbouprodukte, die wêreldbevolkingsontploffing en die uitputting van fossiele brandstof dui almal op die noodsaaklikheid om nuwe bronne van landboukun-

dige en ander produkte te ontwikkel wat nie die aarde se verminderende hulpbronne verder sal laat daal nie. Alge kan 'n rol vervul as 'n bykomstige bron van nuttige landboukundige produkte sonder om groot eise aan grond of minerale en energiebronne te stel. Alge wat in ieder geval in huishoudelike of nywerheidsafvalwaterbehandelingsaanlegte groei, kan ontgin word as voedsel of energiebron. In die proses sal voedingstofopname deur die alge ook help om die eutrofikasiepotensiaal van die afvalwater te verminder. Dit is belangrik, omdat wetgewing in Suid-Afrika vereis dat afvalwater behandel moet word en dan daarna terugbesorg moet word aan die strome of riviere van oorsprong. Sekere soorte alge kan ook in brak en alkaliese water in droë klimaatstreke en by hoër temperature van tot 45 °C groei. Hierdie toestande is nie geskik vir konvensionele landbou nie, en is ook nie ongewoon vir Suid-Afrika nie.

Die taksonomiese verskeidenheid van alge word weerspieël in hulle metaboliese verskeidenheid; daar bestaan 'n groot aantal algprodukte van kommersiële belang. Verder het alge die vermoë om biochemies by verskillende omgewingstoestande aan te pas, sodat hulle chemiese samestelling gemanipuleer kan word. 'n Verdere voordeel van alge bo hoër plante in hierdie verband is dat chemikalieë of 'n belangrike produk in die totale algbiomassa gevind word en nie net in 'n gedeelte soos 'n wortel of vrug nie. Die biomassa word dus effektiewer benut.

ALGE AS VOEDSELBRON VIR MENS EN DIER

Reeds meer as 400 jaar gelede het die Asteke in Meksiko die blougroen alg, *Spirulina*, geoes, gedroog en geëet. Gedroogde *Spirulina*koekies is nog steeds 'n voedselbron in die Tjaadmeeromgewing. Vandag word gesondheidsvoedselprodukte wat *Spirulina* of die groen alg, *Chlorella*, bevat, teen R40-R200 per kilogram droë massa verkoop, veral in Japan. *Spirulina* bevat tot 70% proteïen, sy nukleïensuurinhoud is laag in vergelyking met bakterieënkelselproteïen, dit is maklik om te verteer, geheel en al nie-toksies en sy lipiede bevat onversadigde vet-sure wat nie cholesterol vorm nie. Al hierdie eienskappe maak *Spirulina* 'n belowende voedselitem wat moontlik in die toekoms prysgewys met ander voedselprodukte kan kompeteer.

In akwakultuur word alge gedeeltelik as 'n voedselbron vir ongewerweld diere gebruik, wat op hulle beurt weer aan visse gevoer kan word. Die pigmente afkomstig van alge is belangrik om ornamentele visse se kleure te verfraai. As die pryse van vis- en sojaboonmeel nog verder sou styg, sou algproteïene mettertyd kan kompeteer met hierdie produkte as 'n proteïensupplement in diervoedsel, veral as die alge as 'n kostebesparende neweproduk in afvalwaterbehandelingsaanlegte gekweek word.

FYN CHEMIKALIEË

Verskeie mikro-organismes, insluitende alge, produseer 'n reeks verbindings van waarde in die voedsel-, kosmetiese en farmaseutiese nywerhede. Hierdie verbindings sluit die volgende in: vitamien-

karotenoïede, fikobiliproteïene, aminosure, biovlokmiddels, polisakkariede, poliole, antibiotiese middels, groei-hormone, sterole, lipiede, vetsure, anti-oksiedeermiddels, wasesters en koolwaterstowwe. In tabel 1 word sommige van hierdie fyn chemikalieë en hul benaderde huidige markwaarde aangedui.

TABEL 1

Benaderde markwaarde (rand per kilogram) vir 'n reeks fyn chemikalieë wat alreeds of moontlik deur alge geproduseer kan word (vanaf Borowitzka⁸)

Vitamien A	65
Vitamien E	67
Fikosianien (gemeng met laktose)	300
Aragidoonsuur	500
Eikosaanpentanoësuur	500
β -karoteen (sinteties)	400 — 2 800
β -karoteen (natuurlike algprodukt)	1 600 — 3 200
γ -linoleïensuur	2 900

Kommersiële produksie van β -karoteen (wat omgeskakel kan word na vitamien A) deur die halo-fiele groen alg *Dunaliella salina* is alreeds ver gevorderd. Hierdie alg kan meer as 10% van sy droë massa as β -karoteen bevat, terwyl die waarde vir die ander natuurlike bron, wortels, slegs 0,5% is. Natuurlike β -karoteen het 'n gesondheidsvoedselmarkwaarde van meer as R1 600 per kg. Fikobiliproteïene het 'n groot potensiaal vir gebruik as natuurlike voedselkleurmiddels. Die blou pigment, fikosianien, word alreeds in Japan uit *Spirulina platensis* gesuiwer en in gesondheidsvoedsels en kosmetiese produkte gebruik. Polisakkariedproduksie is nog 'n gebied waar 'n groot potensiaal vir varswateralge bestaan. Tans is die meeste algpolisakkariede soos agar, karrageenan en alginaat van seewiere afkomstig. In Israel word *Dunaliella* ook as 'n bron van gliserol ontgin.

Voorbeelde van farmaseutiese middels afkomstig van alge is 'n reeks antibakteriese, antifungale en anti-inflammatoriese middels en fikokolloïede met hipocholesteremiese eienskappe.

Algliptide kan gebruik word in die vervaardiging van oppervlakmiddels, rubber, ghries, tekstielware, voedselbymiddels, kosmetiese en farmaseutiese ware. Die polionversadigde vetsure soos aragidoonsuur en γ -linoleïensuur is van besondere waarde. Hierdie vetsure is noodsaaklike dieetbestanddele wat omgeskakel word na 'n reeks C₂₀-verbindinge soos prostaglandiene. Met die uitsondering van linoleïensuur is die polionversadigde vetsure skaars in plante en diere en nuwe bronne word benodig om die groeiende aanvraag aan te vul.

BRANDSTOF

Tydens fotosintese word ligenergie in stoorbare chemiese energie omgeskakel. Verskillende alge is in staat om die volgende brandstowwe, of hoë energie-molekules, te produseer: waterstof, ammoniak, me-

taan, etanol, trigliseriede, lipiede en koolwaterstowwe. Waterstofgas is 'n hernubare brandstof wat nie besoedel nie. Verskeie groen en blougroen alge kan geïnduseer word om 'n hidrogenase ensiem te ontwikkel wat in die teenwoordigheid van lig waterstof lewer. Onder druk van hoë soutkonsentrasies kan sekere alge tot 70% van hulle droë massa as lipiede olies bevat, wat na brandstof en diesel omgeskakel kan word. Daar is beraam dat opelug damme in gebiede met baie sonlig 'n potensiaal het om 2 tot 3 vate brandstof per hektaar per week te lewer.

BIOAKKUMULERING VAN METALE EN GIFSTOWWE

Verskeie alge is in staat om metale, pesdoders en besoedelende koolwaterstowwe afkomstig van nywerheidsafval in hulle selle te akkumuleer. Toksiese metale (bv. lood of kwik) kan van uitvloeiels verwyder word en waardevolle metale (bv. uraan of goud) kan van die selle herwin word. Alge kan ook gebruik word om oormatige nitrate en fosfate in afvalwater te verwyder. Hierdie vermoë kan gekoppel word aan bakteriese oksidering in hoë tempoëksidasiedamme om huishoudelike en voerkraal-uitvloeiels te behandel.

EKONOMIESE WAARDEBEPALING

Algprodukte moet in gehalte en prys met konvensionele produkte kompeteer. 'n Gebrek aan vertroutheid met algprodukte maak dit noodsaaklik dat enige ekonomiese en/of gehalte voordele beklemtoon moet word om die verbruiker van hulle waarde te oortuig. Die pryse van algprodukte is vandag nog onaantreklik hoog, maar met groter behoeftes, verdere navorsing en die ontwikkeling van nuwe tegnieke sal die vooruitsigte in die toekoms verander. Selfs vandag kan algbiomassaproduksie ekonomies vatbaar wees as 'n hele reeks produkte en dienste (soos afvalwaterbehandeling) saam oorweeg word.⁷

VERWYSINGS

- Toerien, D.F. (1986). Besoedeling van Waterbronne, S.A. Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie, 5, 22-27.
- Viljoen, F.C. & Haynes, R.E. (1985). Financial implications of eutrophication. Referaat gelewer tydens 'n Simposium oor *The impact of phosphate on South African Waters*, WNNR, Pretoria, 18 pp.
- Zohary, T. (1985). Hyperscums of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* in a hypertrophic lake (Hartbeespoort Dam, South Africa), *J. Plankton Res.*, 7, 339-409.
- Botes, D.P. (1986) Cyanoginosins — Isolation and Structure. In *Mycotoxins and Phycotoxins*, Steyn, P.S. & Vlegaar, R. eds, Elsevier, Amsterdam, pp. 161-167.
- Scott, W.E. (1987). *Toxins of blue-green algae, A ten year report*. National Institute for Water Research, CSIR, Pretoria, 180 pp.
- Bruwer, C.A. (1981). Limnology orientated water resources management in South Africa. 1970 to 1980. In *Water year + 10 and then?*, Hattingh, W.H.J. (ed.) Technical Report, TR 114, Dept. of Water Affairs, Pretoria, pp. 16-32.
- Aaronson, S & Dubinsky, Z. (1982). Mass production of microalgae, *Experientia* 38, 36-40.
- Borowitzka, M.A. (1986). Micro-algae as sources of fine chemicals, *Microbiological Sciences*, 3, 372-375.