



Christian Hazenoot, ARCADIS

Bart Reeze, ARCADIS

Hans Matthijs, Universiteit van Amsterdam

Jeroen Meeuse, Waterschap Hunze en Aa's

Effectiviteit bestrijding blauwalgen met waterstofperoxide

Blauwalgen vormen een groot probleem voor waterbeheerders en recreanten. De Universiteit van Amsterdam en ARCADIS ontwikkelden een nieuwe methode om blauwalgen te bestrijden door middel van waterstofperoxide. De toepassing en resultaten van de veldexperimenten worden hier gepresenteerd. Met het waterkwaliteitsmodel PCLake is de effectiviteit van de methode voor verschillende situaties doorgerekend. Behandeling in mei geeft het meest langdurige resultaat. Behandeling in juli is echter gunstiger met het oog op het zomerseizoen. Variatie in de fosfaatbelasting lijkt geen invloed op de resultaten te hebben. Bovendien zijn er aanwijzingen dat onder bepaalde omstandigheden een behandeling met waterstofperoxide een permanente omslag kan veroorzaken.



Blauwalgen vormen steeds vaker een probleem voor waterbeheerders. Door een nog toenemende eutrofiëring raken wateren in Nederland verrijkt met nutriënten. Dit leidt ertoe dat meer wateren niet langer gedomineerd worden door ondergedoken vegetatie maar omslaan naar een troebele, door algen gedomineerde, situatie¹. Een waterlichaam dat gedomineerd wordt door blauwalgen, heeft een lagere ecologische waarde en is esthetisch minder aantrek-

kelijk. Daarnaast kunnen hoge dichtheden en drijfslagen van blauwalgen een potentieel gezondheidsrisico vormen voor mens en dier, doordat sommige blauwalgen schadelijke toxines uitscheiden².

Een combinatie van eutrofiëring en hoge temperaturen geeft vaak aanleiding tot bloei van blauwalgen. Een belangrijke maatregel om blauwalgen te bestrijden, is verlaging van de fosfaatbelasting. Andere bestaande maatregelen die in Nederland worden

toegepast, zijn onder andere toediening van Phoslock, baggeren, afvissen, doorspoelen, het aanleggen van moeraszones, het saneren van overstorten en diepe menging.

In 2009 is een nieuwe methode ontwikkeld door ARCADIS en de Universiteit van Amsterdam. Uit onderzoek bleek dat blauwalgen, meer dan andere algensoorten, gevoelig zijn voor lage concentraties waterstofperoxide³. Waterstofperoxide is een milde oxidator die het fotosyntheseapparaat van de blauwalgen verstoort, waardoor de algen sterven. Een bijkomend voordeel is dat waterstofperoxide ook het microcystine afbreekt. Het waterstofperoxide is maar kort in de waterfase aanwezig, er blijven geen stoffen achter en het valt binnen een paar uur volledig uiteen in water en zuurstof. Daarnaast ondervinden organismen geen of geen blijvende effecten van waterstofperoxide. Watervlooiën en prokaryote bodembacteriën zijn de meest gevoelige groepen; de toegepaste concentratie ligt dichtbij gerapporteerde EC50 en LC50 van enkele soorten³.

In 2009 is in twee zwemplassen (de Koetshuisplas in het Borgerswold in Veendam en de Veerplas in Spaarwoude) en een stadswater (stadsvijver Aldenhof in Born) de methode toegepast. De effecten van de experimenten zijn nauwkeurig gevolgd:

naast effecten op de blauwalgen en microcystine zijn ook andere parameters gevolgd (waterchemie, zoöplankton, macrofauna). In de Koetshuisplas daalde na de behandeling met waterstofperoxide het celaantal binnen tien dagen van 600.000 naar 7.000 cellen/ml; in de Veerplas daalde het celaantal binnen vijf dagen van 1.400.000 naar 6.000 cellen/ml en in de stadsvijver in Born daalde het celaantal binnen 13 dagen van 33.000 naar 600 cellen/ml^(4),5),6).

De oude norm van 2009 voor veilig zwemwater bedroeg 50.000 cellen/ml: in de Koetshuisplas en de Veerplas kon het geldende negatieve zwemadvies worden opgeheven voor een periode van respectievelijk acht en drie weken^(4),5). Rekenend met de huidige norm voor een negatief zwemadvies (2010; 300.000 cellen/ml) zouden de behandelde zwemplassen overigens voor een aanmerkelijk langere tijd open kunnen blijven.

Deze succesvolle experimenten leverden vragen op over het toepassingsbereik en de effectiviteit van de behandeling met waterstofperoxide: in welke situaties is de methode kansrijk? En heeft het tijdstip van behandelen effect op de periode dat de blauwalgen afwezig zijn?

Werkwijze

De behandeling met waterstofperoxide is nagebootst met het waterkwaliteitsmodel PCLake⁷⁾. De Koetshuisplas is als studie-object gebruikt; van deze plas is de meeste informatie over de behandeling en de waterkwaliteit beschikbaar. De zwemplas ligt in het recreatiegebied Borgerswold in Veendam (Groningen). In de plas ligt een waterskibaan die intensief gebruikt wordt. Het recreatiewater omvat circa twaalf hectare met een gemiddelde diepte van twee meter. De bodem bestaat uit veen afgedekt met een zandlaag. Vanaf zomer 2007 ondervindt de Koetshuisplas last van blauwalgen en is het water troebel met bijna geen waterplanten. In de zomer worden hoge dichtheden aan (blauw)algen aangetroffen, maar ook in de winter blijft het aantal blauwalgcellen en de concentratie microcystine hoog. Vorig jaar zijn twee maatregelen genomen: het hydrologisch isoleren en afvissen van de plas. Deze maatregelen zijn gericht op verlaging van de fosfaatbelasting⁹⁾ - wat de sturende factor van de blauwalgenoverlast in de Koetshuisplas is. Door het hydrologisch isoleren is de (berekende) dagelijkse belasting laag: 0,2 mg P/m². Daarnaast is de plas vorig jaar behandeld met waterstofperoxide.

Het gebruikte model, PCLake, geeft de waterkwaliteit en de ecologische toestand (een helder en plantenrijk of troebel en algendomineerd systeem) weer. Met het model kan worden berekend bij welke belastingen het systeem omslaat van helder naar troebel (en omgekeerd). Het complexe model heeft bij realistische parameters alternatieve stabiele toestanden en de bijbehorende omslagpunten (kritische belastingen)⁸⁾. De eigenschappen van de Koetshuisplas zijn in PCLake ingevoerd. Daarnaast zijn

historische KNMI-gegevens (station Eelde) van temperatuur, neerslag en verdamping voor de jaren 1990-2009 ingevoerd om het huidige klimaat en peilbeheer na te bootsen. Voor de overige parameters zijn de standaardinstellingen van het model gebruikt. De resultaten van de modelsimulaties worden na 20 jaar afgelezen, wanneer het model tot een (nieuwe) evenwichtssituatie is gekomen en de modelprocessen in evenwicht zijn.

Gevoeligheidsanalyse

Ter ondersteuning van de waterstofperoxide-simulaties is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om de belangrijkste stuurfactoren te bepalen. Dit laat zien of bepaalde parameters een grote invloed op de modelresultaten hebben. Daarnaast kan deze analyse het waterschap helpen bij het selecteren van maatregelen om de blauwalgenoverlast te bestrijden.

Zeven verschillende parameters zijn hiervoor los van elkaar met drie tot zes verschillende waarden gevarieerd om het effect op de kritische belasting te bepalen:

- bodem (zand*, zand/veen, veen)
- diepte (1,6, 1,8, 2,0*, 2,2, 2,4 meter)
- strijklengte (250, 345*, 500 meter)
- achtergrondextinctie (0,5*, 0,7, 1,0 meter)
- fractie orthofosfaat (0,25, 0,4*, 0,5)
- visstand (-90%, -50%, 0*, +100%)
- plas-draszones (0*, 1, 2, 3, 5, 10% van totale oppervlak)

* standaardwaarde voor de Koetshuisplas

De fosfaatbelasting is in de Koetshuisplas de sturende factor; de dagelijkse fosfaatbelasting wordt daarom bij elke parameter gevarieerd met 0,2, 0,4, 0,7 en 1,2 mg P/m², waarbij 0,2 mg P/m² de standaardbelasting is van de hydrologisch geïsoleerde recreatieplas. Wanneer het peil te ver zakt en de minimale diepte voor de waterskibaan is bereikt, wordt water ingelaten. De ecologische toestand van het systeem (helder of troebel) is afgelezen aan de hand van het gemiddelde chlorofylgehalte in de zomer en het zomergemiddelde aan vegetatiebedekking in het laatst gesimuleerde jaar. Een vegetatiebedekking van 20 procent en een daarmee gepaard gaand hoog of laag

chlorofylgehalte is gebruikt als criterium voor een heldere of troebele conditie van het systeem⁴⁾.

Simulatie

De waterstofperoxidebehandeling is in PCLake gesimuleerd door de mortaliteit van blauwalgen te verhogen, zodat na zeven dagen ongeveer 95 procent van de blauwalgen dood gaat. Gevarieerd wordt met de fosfaatbelasting (dezelfde waarden als bij de gevoeligheidsanalyse), de periode van toediening (1 mei, 1 juni, 1 juli en 1 augustus) en de gevoeligste parameters uit de gevoeligheidsanalyse.

De resultaten zijn geïnterpreteerd aan de hand van de norm voor een negatief zwemadvies (risiconiveau 3) van het Blauwalgenprotocol 2010. Het aantal dagen onder deze norm, zoals gehanteerd door het waterschap (> 300.000 cellen/ml, > 75 µg/l cyanochlorofyl of > 15 mm³/l biovolume), is berekend. Drijfvlagen zijn niet meegenomen, omdat PCLake die niet berekent.

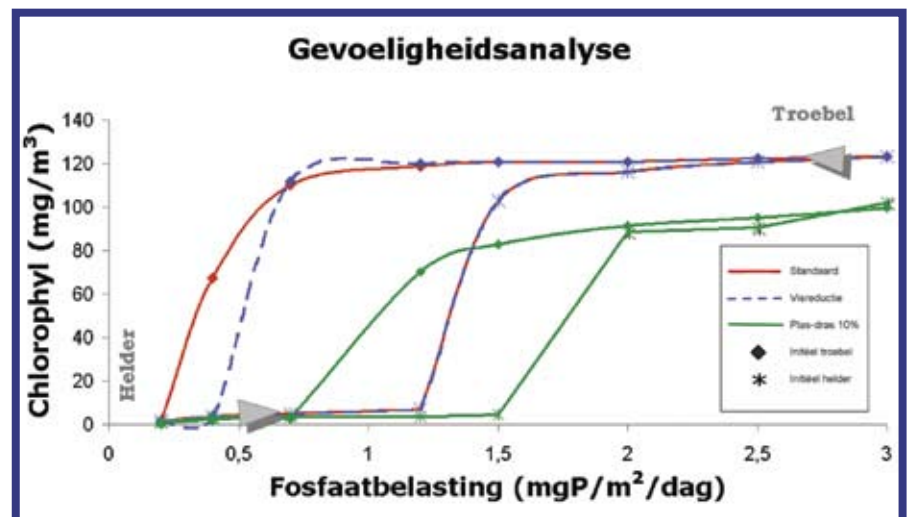
Resultaten

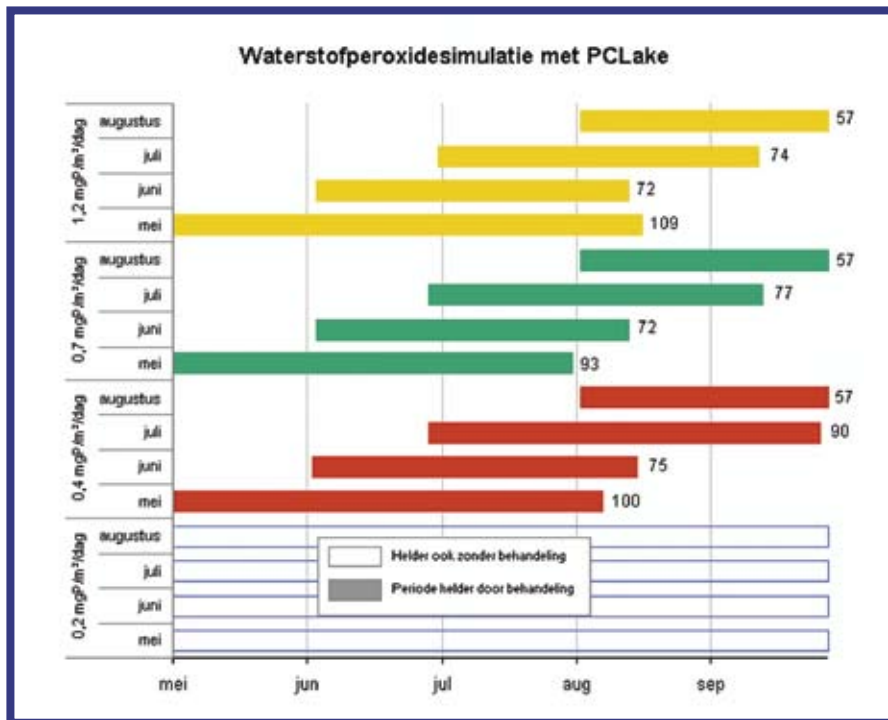
Gevoeligheidsanalyse

De dagelijkse fosfaatbelasting van de Koetshuisplas is voor de huidige conditie van de plas berekend op 0,2 mg P/m²²⁹⁾. Met deze belasting wordt een heldere toestand door PCLake berekend (zie afbeelding 1, standaardinstellingen, rode gestippelde lijn). Bij een hogere belasting (0,4 mg P/m²) bevindt de plas zich in het troebele evenwicht. Omdat de Koetshuisplas op dit moment troebel is, moet de bovenste lijn in afbeelding 1, van troebel naar helder, afgelezen worden. Als de Koetshuisplas eenmaal stabiel helder is, vindt de omslag naar een troebele situatie plaats bij hogere dagelijkse fosfaatbelastingen (1,3-2,0 mg P/m²).

Een visstandverlaging van 90 procent en vergroting van de plas-draszone tot tien procent van het oppervlak van de plas bleken de meeste invloed te hebben om een omslag van troebel naar helder te krijgen (zie afbeelding 1, blauwe en groene lijn). De andere gevarieerde parameters (diepte, bodem, strijklengte, verhoogde achtergrondextinctie en gehalte ortho-

Afb. 1: Kritische belastingen van de gevoeligste parameters van de gevoeligheidsanalyse.





Afb. 2: Aantal dagen onder de norm voor een negatief zwemadvies (75 µg/l cyanochlorofyl, 300.000 cellen/ml, 15 mm³ biovolume) na een behandeling met waterstofperoxide.

fosfaat in inlaatwater) bleken minder of geen invloed te hebben. Daarbij is het mogelijk dat de gehanteerde variaties niet groot genoeg zijn om van invloed te zijn op de gemodelleerde ecologische toestand, maar grotere variaties zijn niet logisch en relevant voor de situatie van de Koetshuisplas.

Simulatie

Afbeelding 2 geeft de resultaten weer van de simulatie met PCLake. In de grafiek staan met balken en cijfers de dagen aangegeven waarop de blauwalgenconcentratie, door de behandeling, beneden de norm blijft. Zonder behandeling bevinden de blauwalgen zich bij deze periodes en belasting boven de norm voor een negatief zwemadvies. Op de y-as is de fosfaatbelasting en het moment van toedienen gevarieerd. Bij een fosfaatbelasting van 0,2 mg P/m²/dag voorspelt het model een permanent heldere toestand (zie hierboven).

De simulaties hebben onder alle omstandigheden effect; over het algemeen voorspelt PCLake geringe verschillen voor verschillende fosfaatbelastingen (zie afbeelding 2). Toedienen op 1 augustus geeft in alle gesimuleerde gevallen een resultaat tot 57 dagen nadien, doordat opgehouden is met tellen op 1 oktober, wanneer het zwemseizoen eindigt.

Het grootste verschil wordt veroorzaakt door het moment van behandelen. Toedienen op 1 mei heeft het meeste effect op het aantal dagen onder de norm. Het model berekent dat de plas voor een periode van ongeveer 100 dagen (ruim 14 weken) onder de negatieve zwemadviesnorm blijft. Uit de modelresultaten blijkt dat de oorzaak tweeledig is: een grote toename van zoöplankton direct na behandeling én een sterke groei van diatomeeën.

Doordat deze twee processen elkaar versterken, worden blauwalgen in deze simulaties gedurende een lange periode weggeconcentreerd.

Behandelen in juni, juli en augustus resulteert in een kortere periode onder de norm dan in mei (tussen de 57 en 90 dagen onder de norm voor het negatieve zwemadvies.) Uit de modelresultaten is af te lezen dat andere algensoorten geen hoge abundantie meer hebben. In combinatie met een gunstiger klimaat voor blauwalgen zijn ze niet in staat om de concurrentie met blauwalgen te winnen. Ze nemen wel toe, maar niet tot een zo hoog niveau dat ze net zo effectief blauwalgen kunnen beconcurreren als het geval is bij behandeling op 1 mei.

Dezelfde simulaties zijn uitgevoerd met een 90 procent gereduceerde visstand en een plas-draszone van tien procent. Deze twee factoren waren de meest gevoelige parameters van de gevoeligheidsanalyse. Ze bleken niet van invloed te zijn op het aantal dagen dat de hoeveelheid blauwalgen onder de norm bleef; wel wordt conform de gevoeligheidsanalyse in een aantal gevallen een heldere toestand voorspeld.

Discussie

Met de berekende fosfaatbelasting wordt voor de huidige conditie van de Koetshuisplas voorspeld dat deze helder zou moeten zijn (zie afbeelding 1). Ook de genomen maatregelen zouden volgens de modelresultaten een heldere situatie moeten bevorderen. In werkelijkheid is dit niet het geval: op dit moment ondervindt de recreatieplas nog steeds last van blauwalgen en is sprake van troebel water. Mogelijk wordt dit veroorzaakt doordat de maatregelen meer tijd nodig hebben om effecten op de waterkwaliteit te sorteren. Of doordat er nog een

verborgen bron van fosfaat is, waardoor de belasting hoger is dan berekend.

Bij het interpreteren van de resultaten van de simulaties met PCLake moet rekening worden gehouden met de beperkingen van het model. Ecosysteemmodellen bevatten altijd (veel) onzekerheid, veroorzaakt door de modelstructuur zelf of door onzekere parameterwaarden. Daarbij is het model ontworpen voor kwalitatieve berekeningen van de waterkwaliteit⁷. Het kwantitatief modelleren van het aantal dagen onder een norm valt buiten de scope waarvoor PCLake oorspronkelijk ontwikkeld is. Hoewel de resultaten kwantitatief lastig te vergelijken zijn, geven de modelresultaten wel eenzelfde orde van grootte aan als de praktijk.

Bij de behandeling van de Koetshuisplas op 14 juli 2009 (met andere eigenschappen dan hier gemodelleerd) bleef het aantal cellen circa acht weken (56 dagen) onder de toenmalige norm voor een negatief zwemadvies. De celantallen kwamen tot het einde van het zwemseizoen (1 oktober) niet boven de huidige norm van 300.000 cellen/ml. De simulaties geven voor deze periode rond de 70 dagen (tien weken) onder de norm aan, wat redelijk overeenkomt met het behandelde recreatiewater in 2009.

Opvallend in de resultaten is dat de fosfaatbelasting bij de simulaties geen invloed heeft op de duur van het effect; het tegenovergestelde werd verwacht. Blijkbaar zijn andere factoren bepalender voor het terugkomen van de blauwalgen, zoals de temperatuur of competitie met diatomeeën. Maar het effect van de fosfaatbelasting is binnen een kleine range getest. Ook de twee gevarieerde systeemeigenschappen (plas-draszone en visstandreductie) hebben geen effect op de periode onder de norm. Ze verlagen de kritische belasting van het systeem, maar leiden verder niet tot een ander effect van de waterstofperoxidebehandeling.

De modelresultaten en praktijkexperimenten wijzen erop dat een behandeling met waterstofperoxide een systeem een laatste duw kan geven richting een helder evenwicht. Maatregelen om de fosfaatbelasting te verlagen leiden vaak tot een reductie van de fosfaten in het water, maar kunnen niet altijd een omslag veroorzaken. Afgelopen jaren is in veel wateren in Nederland de fosfaatbelasting verlaagd, maar niet in alle gevallen resulteerde dit in het herstel van de heldere situatie. Behandelen met waterstofperoxide kan in deze situaties mogelijk de kritische duw voor een omslag van troebel naar helder zijn.

Conclusie

De wijze waarop PCLake in deze studie is ingezet voor het simuleren van de waterstofperoxidebehandeling, is nieuw. Uit de modelstudie en de resultaten van de veldexperimenten kunnen enkele conclusies worden getrokken.

Voor de Koetshuisplas in Veendam kan op basis van de modelresultaten verwacht

worden dat de genomen inrichtingsmaatregelen om blauwalgenoverlast te voorkomen, op lange termijn effectief zijn. Daarbij is een behandeling met waterstofperoxide op korte termijn een goede aanvullende maatregel om de zwemwaterkwaliteit op orde te houden. Voor de waterstofperoxidebehandeling geven de modelsimulaties aan dat verschillende fosfaatbelastingen en systeemeigenschappen geen effect op het resultaat hebben. Een behandeling met waterstofperoxide rond juli biedt, volgens de modelresultaten, de meeste potentie voor veilig zwemwater gedurende juli en augustus.

De behandeling met waterstofperoxide blijkt een goede en flexibele mogelijkheid te bieden om blauwalgen te bestrijden en een negatief zwemadvies en/of verbod binnen korte tijd op te heffen. Bijkomend voordeel is dat een waterstofperoxidebehandeling de ecologische kwaliteit niet negatief beïnvloedt. En er zijn aanwijzingen dat een behandeling met waterstofperoxide kan

bijdragen aan het eerder bereiken van een heldere evenwichtstoestand.

Ten slotte zijn tijdens de behandeling van de Koetshuisplas dit voorjaar nieuwe effecten zichtbaar geworden. Door een hoge troebelheid van het water was de behandeling minder effectief. Dit geeft aan dat de methode nog steeds in ontwikkeling is en dat het model helpt om de behandeling beter te leren begrijpen. In de praktijk moet men nog steeds alert zijn op factoren die mogelijk van invloed kunnen zijn op de effectiviteit van de methode.

LITERATUUR

- 1) Gulati R. en E. Van Donk (2002). Lakes in the Netherlands, their origin, eutrophication and restoration: state-of-the-art review. *Hydrobiologia* 478, pag. 73-106.
- 2) Lurling M., H. van Dam en B van der Wal (2009). Blauwalgen: giftig groen: de biologie en risico's van cyanobacteriën. STOWA. Rapport 2009-43.
- 3) Drábková M., H. Matthijs, W. Admiraal en B. Maršálek (2007) Selective effects of H₂O₂ on

cyanobacterial photosynthesis. *Photosynthetica* 45, pag. 363-369.

- 4) Reeze B., H. Matthijs, P. Visser en M. Bloemerts (2010). Bestrijding blauwalg recreatieplas Koetshuis met behulp van waterstofperoxide. ARCADIS.
- 5) Reeze B. en J. Bosman (2010). Blauwalgen bestrijding Veerplas. ARCADIS.
- 6) Reeze B. (2010). Bestrijding blauwalg stadsvijver Aldenhof, Born met behulp van waterstofperoxide. ARCADIS.
- 7) Janse J. (2005). Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches. Ph.D. Thesis Wageningen Universiteit.
- 8) Scheffer M., S. Carpenter, J. Foley, C. Folke en B. Walker (2001). Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* 413, pag. 591-596.
- 9) Bijkerk R., G. Bonhof, G. Mulderij, R. Torenbeek en G. Wolters (2009). Bestrijding blauwalgoverlast recreatiegebied Borgerwolde te Veendam. Koeman en Bijkerk BV. Rapport 2009-004.