



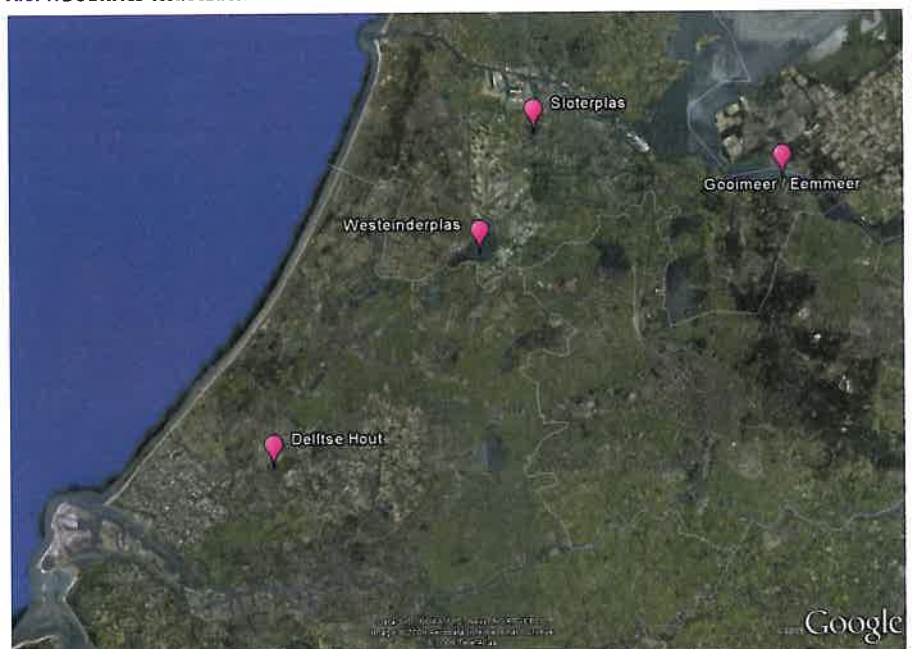
David Burger, Deltares
 Bas Ibellings, NIOO-KNAW
 Jasper Stroom, Waternet
 Michelle Talsma, STOWA

EWACS: vroegtijdig voorspellen van drijfslagvorming door blauwalgen

Drijfslagvorming door blauwalgen is de voornaamste reden voor het sluiten van zwemlocaties. Stankoverlast door rottende drijfslagen komt regelmatig voor bij beschutte locaties of stedelijke gebieden aan open water. In een drijfslag kunnen de concentraties blauwalgtoxines tot extreme waarden oplopen. Het verschijnen, transporteren, ophopen en verdwijnen van drijfslagen is sterk afhankelijk van de lokale weersomstandigheden die snel kunnen variëren. Door deze sterke dynamiek geeft de reguliere (laagfrequente) monitoring geen goed beeld van de drijfslag. Bij waterbeheerders bestaat behoefte aan *early warning*, zodat ze weten op welk moment en waar drijfslagen optreden. EWACS is een modelinstrumentarium dat in de eindfase een gebruikersvriendelijk en betrouwbaar *early warning*-systeem kan zijn. Waterbeheerders ontvangen dan dagelijks een bulletin dat tot zeven dagen vooruit per dag de waarschijnlijkheid en locatie van drijfslagen in bijvoorbeeld zwemwaterplassen weergeeft. Zover is het echter nog niet; drijfslagen worden momenteel nog niet goed genoeg voorspeld. Eind dit jaar begint nader experimenteel onderzoek naar de dynamiek van drijfslagvorming. Afgelopen zomer zijn opnieuw input- en validatiegegevens in het veld verzameld. Hiermee kan het EWACS-instrumentarium verder worden verbeterd.

Jaarlijks zijn veel zwemwaterlocaties gesloten voor zwemmers vanwege drijfslagen van blauwalgen. Blauwalgenbloei is een natuurlijk verschijnsel, maar frequentie en omvang van de bloei is onder invloed van eutrofiëring sterk toegenomen. De klimaatverandering heeft als waarschijnlijk neveneffect dat blauwalgenbloei verder zal toenemen. Vanwege regelgeving wordt de druk groter om de blauwalgen aan te pakken, waarbij drijfslagen de kern vormen van het blauwalgenprobleem. Drijfslagen concentreren zich aan de oevers, juist daar waar het contact met zwemmers het meest intensief is. Blauwalg-toxineconcentraties lopen vaak op tot extreme waarden door de ophoping van cellen in een drijfslag*. In het - in het nieuwe badseizoen te gebruiken - blauwalgenprotocol van de Nationale Werkgroep Cyanobacteriën uit 2008 wordt dan ook de nadruk gelegd op drijfslagvorming. Vorming en het verdwijnen van drijfslagen is een hoog dynamisch proces. Daardoor onttrekken drijfslagvorming en de daaraan gekoppelde risico's zich aan de routinematige bemonstering van de zwemwaterkwaliteit.

Afb. 1: De EWACS-testlocaties.



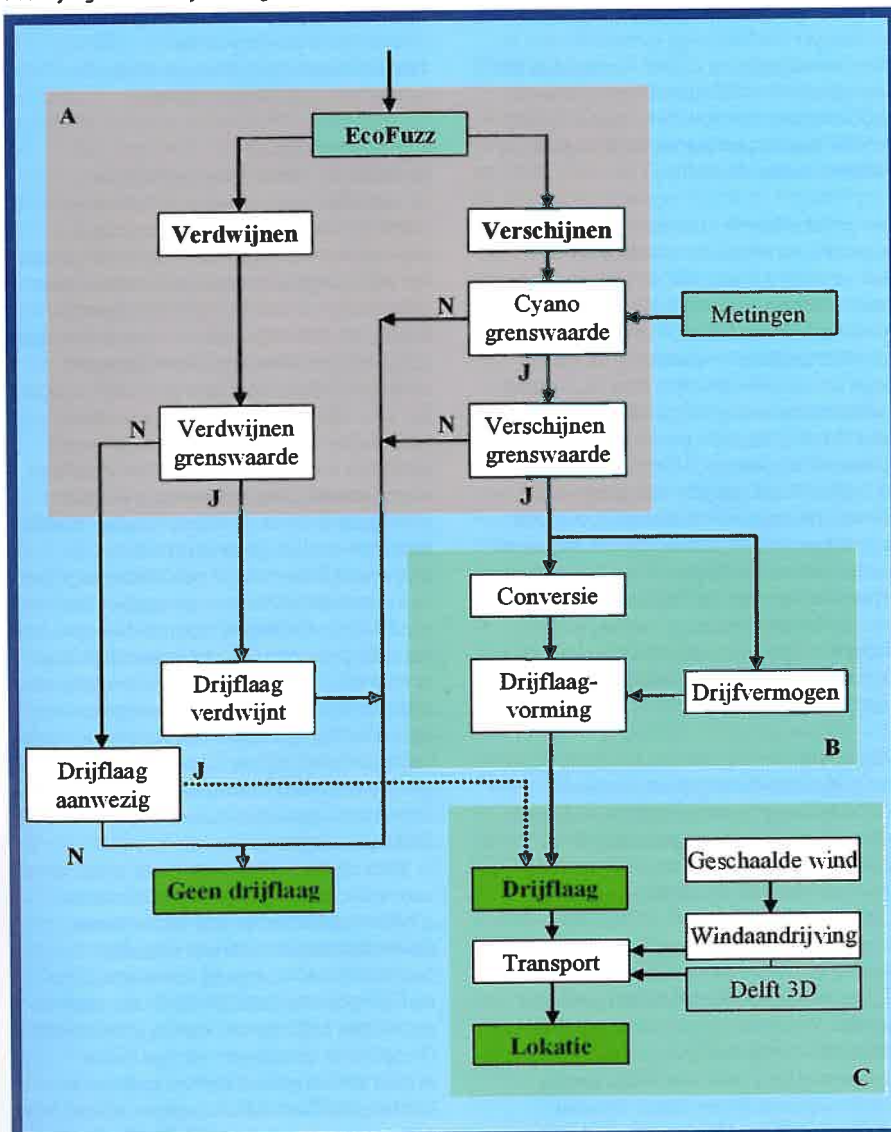
Methode van drijfslagmodellering

De basis van het model is EcoFuzz: een op fuzzy logic gebaseerde module die al eerder succesvol werd toegepast op het grote open water van het IJsselmeer¹⁾. EcoFuzz omvat kennisregels voor windsnelheid, instraling en tijdstip van de dag. Samen bepalen deze variabelen de stabiliteit van de waterkolom, het drijfvermogen van blauwalgen (stijgen of dalen) en daarmee - gecombineerd met biomassa van blauwalgen - de mate waarin drijfslagen zullen verschijnen of verdwijnen (zie afbeelding 2).



Afb. 2: Bepalende factoren voor verschijnen of verdwijnen van drijfslagen in het model EcoFuzz.

Afb. 3: (A) het proces van verschijnen/verdwijnen (met EcoFuzz ingebouwd in Delft3D-WAQ), (B) het formeren van drijfslagen (via biomassa en stijgsnelheid blauwalgen, in Delft3D-WAQ) en (C) het transport (driedimensionale simulatie van waterbeweging en verplaatsing drijfslag, in Delft3D-FLOW). Linksonder het verdwijnp proces van drijfslagen. Het blokje 'Metingen' is in 2008 vervangen door biovolume- en fluoroproefmetingen.



Primair doel van het drijfslagvoorspellingsmodel EWACS is invulling te geven aan de Zwemwaterrichtlijn door tijdig te kunnen waarschuwen voor drijfslagen en het beheer van drijfslagbestrijdende en -werende maatregelen tijdig aan te kunnen sturen (denk onder andere aan het aanzetten van ondiepe mengers die drijfslagvorming en ophoping aan een zwemstrand voorkomen). Bij bewezen kwaliteit kan EWACS ook dienen voor scenariostudies naar maatregelen, zoals herinrichting, doorspoelen, biomassa-verlaging.

EWACS is ontwikkeld door Deltares samen met NIOO-KNAW en in opdracht van STOWA. Het model vraagt als invoer slechts om eenvoudige en goedkoop te genereren parameters en geeft dagelijks een zevendaagse verwachting van de kans op het optreden van drijfslagvorming. Het geheel is locatiespecifiek; gebaseerd op een GIS-kaart van het meer.

EWACS is in 2007 en 2008 getest op vier kleinere gebieden: Gooi- en Eemmeer (Rijkswaterstaat IJsselmeergebied), Westeinderplassen (Rijnland), Sloterplas (Waternet) en Delftse Hout (Delfland) (zie afbeelding 1).

Het volledige EWACS-instrumentarium bestaat uit de integratie/koppeling van drie modellen (zie afbeelding 3): de EcoFuzz-module, het waterkwaliteitsmodel Delft3D-WAQ en het waterbewegingsmodel Delft3D-FLOW.

Blok A: EcoFuzz bepaalt of de omstandigheden drijfslagvormend of juist drijfslagafbrekend zijn. Om aan de vereiste hanteerbaarheid van het model te voldoen, wordt de biomassa niet berekend maar bepaald aan de hand van metingen. Betrouwbare modellering van blauwalgenbiomassa vraagt immers om onder andere water- en nutriëntenbalansen die veelal niet beschikbaar zijn en een grote meetingspanning vragen. Wekelijks of tweewekelijks is biomassa (biovolumebepalingen) als invoerparameter gebruikt in plaats van het algengroei-model Bloom.

Blok B: Indien de drempelwaarden voor biomassa én voor het verschijnen van drijfslagen worden overschreden, gaan in Delft3D-WAQ de blauwalgen stijgen in de waterkolom. Indien ze de dunne toplaag bereiken, worden ze door het model geconverteerd tot type 'drijvende blauwalg'.

Blok C: Delft3D-FLOW maakt op basis van windgegevens een 3D-berekening waarin de waterbeweging van elke waterlaag wordt bepaald. Delft3D-WAQ gebruikt deze waterbeweging voor een transportberekening en legt daar bovenop een specifieke windgevoeligheid voor transport van de drijfslagen. De door EcoFuzz bepaalde drempelwaarden voor het verdwijnen van drijfslagen controleert de hardnekkigheid van drijfslagen.

Parameters die gebruikt zijn om de resultaten te optimaliseren, zijn de drempelwaarden uit EcoFuzz, gevoeligheid voor instraling, wind



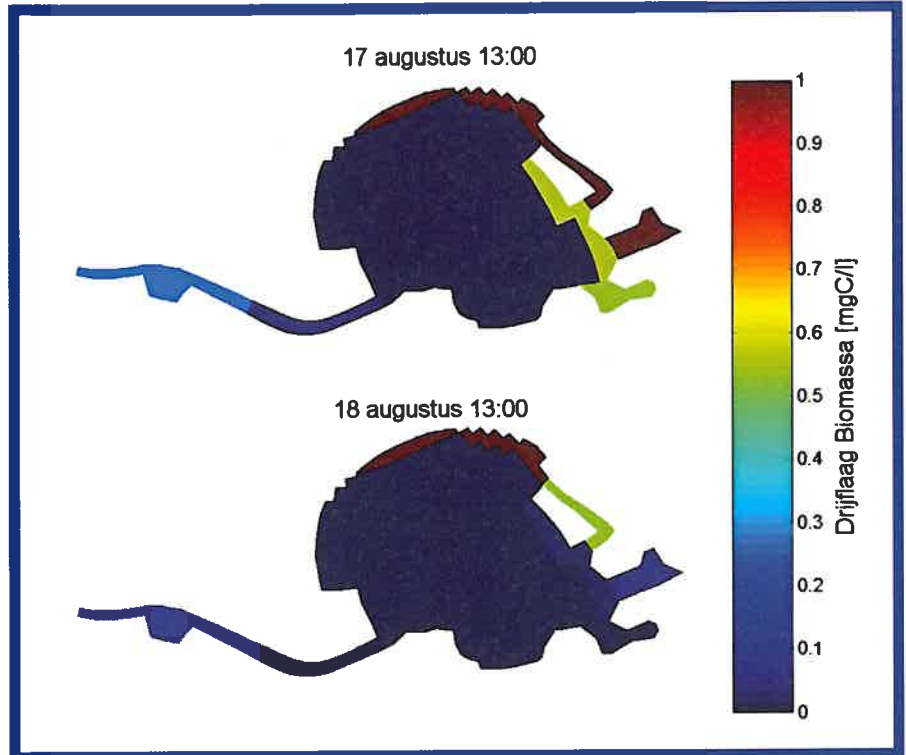
Afb. 4: Drijflaagcategorieën volgens het nieuwe blauwalgenprotocol.

(weerstand, strijklengte en windsnelheid), biomassa en lichtgeschiedenis. De voorspellingen zijn gevalideerd op basis van veldwaarnemingen, waarvoor in diverse zones (bijvoorbeeld elf zones voor Delftse Hout en 19 voor Sloterplas) in de proefgebieden de aanwezigheid van drijflagen zoveel mogelijk op dagbasis is genoteerd door waarnemers. Er is een onderscheid gemaakt in drie categorieën drijflagen, van licht (geen aaneengesloten drijflaag wel drijvende cellen, categorie 1) tot middel (wel aaneengesloten stukken > 10 x 10 cm, categorie 2) en zwaar (grote aaneengesloten drijflagen, categorie 3) (zie afbeelding 4). Deze categorieën komen overeen met die in het eerder genoemde nieuwe blauwalgenprotocol.

Resultaten

Gebaseerd op de wekelijks verzamelde gegevens en meteovoorspellingen van het KNMI is iedere week een simulatie met het EWACS-drijflagenmodel uitgevoerd voor de vier proefgebieden en is op basis daarvan een bulletin geproduceerd ten behoeve van de waterbeheerders (afbeelding 5 geeft een voorbeeld voor de Delftse Hout).

De resultaten geven aan dat het model lastig is om te kalibreren. Uit de gevoeligheidsanalyse met modelparameters (zie kader) blijkt dat het beter voorspellen van drijflaagvorming gepaard gaat met meer 'vals positieven' (drijflaag wordt gemodelleerd maar niet aangetroffen) en vice versa: rekenresultaten met minder 'vals positieven' leveren ook een minder adequate voorspelling van de drijflagen op. Dit betekent dat de overeenstemming tussen modelvoorspelling en waarneming nog onvoldoende is. Dit wordt bevestigd door berekening van Cohens Kappa: een statistische test die overeenstemming



Afb. 5: Voorspelde drijflagen voor 17 en 18 augustus 2008 in de Delftse Hout.

tussen twee datasets berekent. Te vaak is sprake van slechts 'enige overeenkomst' in de scorevergelijking tussen voorspelde en waargenomen drijflagen. De resultaten in het Gooimeer zijn opvallend goed, maar de validatiedataset (aantal drijflaagwaarnemingen) is daar beperkt.

Een gedetailleerde analyse van de meetgegevens en modelsimulaties voor de Delftse Hout gaf aan dat de 'vals negatieven' vaak worden veroorzaakt door een hoge windsnelheid op het moment dat in het veld een drijflaag is waargenomen. Een hoge windsnelheid wordt door het model vertaald naar een geringe kans op drijflaagvorming, terwijl de drijflaag in werkelijkheid hardnekkiger blijkt te zijn. De in de Delftse Hout getelde 'vals positieven' komen meestal voor in periodes met een lage windsnelheid, wat in het model niet of nauwelijks aanleiding geeft tot het opbreken en verdwijnen van de drijflaag. In het model was de drijflaag dan nog aanwezig of net bezig te verdwijnen, terwijl in het veld geen drijflaag werd waargenomen, ondanks lage windsnelheden.

Discussie

Het project heeft nog geen inzetbaar waarschuwingssysteem opgeleverd, maar wel scherp op de kaart gezet wat we blijkbaar nog niet goed kunnen reproduceren als het gaat om drijflaagvorming.

- het gedrag van blauwalgen
We moeten meer weten van de omstandigheden waaronder drijflagen gevormd worden. We zijn uitgegaan van een generalisatie dat een drietal groepen blauwalgen representatief is voor vier Nederlandse binnenwateren die en masse identiek reageren op bepaalde omstandigheden.

Onbekend is in hoeverre drijflaagvorming afhankelijk is van bijvoorbeeld stabiliteit van de waterkolom, lichtgeschiedenis, nutriënten, koloniegrootte, etc.

- modelconcepten
Modellering is een versimpeling van de werkelijkheid, resulterend in modelartefacten. Het model rekent met een algendichtheid in grammen koolstof per liter. Per blauwalggroep moeten de biovolumes (afkomstig van microscopische algentellingen) en chlorofylwaarden voor blauwalgen (afkomstig van fluoroproef-metingen) omgerekend worden naar grammen koolstof per liter. Hiervoor worden standaardrekenfactoren gebruikt. Het model wordt periodiek aangepast op basis van de al dan niet ruimtelijk beschikbare data in ieder proefgebied. Over de diepte worden blauwalgconcentraties gelijk verdeeld geacht, wat vooral in een diepe put (Sloterplas) niet representatief is. Na een aanpassing kent het model geen drijflagen, maar zal die opnieuw moeten genereren als de omstandigheden er naar zijn. De historie van accumulatie van algen in een bepaalde hoek wordt zo niet gebruikt. Alle gemeten blauwalgen worden verondersteld drijfvermogen te kunnen genereren, terwijl enkele blauwalgfamilies dat niet of nauwelijks kunnen en dus nooit drijflagen vormen.
Er is tot op heden met één vaste stijgsnelheid voor alle blauwalgen gewerkt. Inmiddels is het mogelijk hierin drie verschillende blauwalggroepen te onderscheiden. Delft3D-FLOW kent geen luwte-effecten van oeverzones. Delft3D-WAQ wel, maar in de praktijk blijkt dat dit weinig effect heeft. Onder meer omdat het huidige detailniveau van de gridcellen het voorkomen van lokale inhammen, haventjes, sloten, etc. niet toelaat. In de testgebieden bedraagt



Foto: Eric van der Aa

de gridgrootte (en dus ook de cellen) bij de oeverzone 27 tot 150 meter. De oevers in het model zijn glad of grof getand van vorm. Draaiende wind blijkt de drijfslag in het model dan snel te verplaatsen, terwijl deze in werkelijkheid kan blijven hangen. Het voor dit doel relatief grove detailniveau resulteert ook in uitmiddeling van informatie per gridcel, waardoor typische - fysische - oeverfenomenen in het gedrang komen en worden 'verdund' met de informatie van de gridcel als geheel. Zo kan in werkelijkheid de drempelwaarde voor drijfslagvorming aan een oever relatief snel worden bereikt, maar wordt dit door het model niet waargenomen door lagere waarden in de rest van de gridcel. Om dan toch een goede score te krijgen voor drijfslagen aan de oevers, moet het model overreagerend ingesteld worden. Met als mogelijk gevolg meer 'vals positieven'.

■ veldgegevens

Bij deze studie is voor de kalibratie en validatie gebruik gemaakt van veldgegevens die in tijd en ruimte beperkt zijn ten opzichte van de variabiliteit in de vier proefgebieden. Door particulieren en ambtenaren van gemeente, rijkswaterstaat en waterschap zijn per locatie unieke datasets van drijfslagwaarnemingen samengesteld. Maar de validatiegegevens kennen, net als het model, hun eigen onvolkomenheden en onzekerheden. Het perspectief vanuit een vliegtuig is wezenlijk anders als vanaf de oever of vanaf een boot, zoals bleek in het Gooimeer. Visuele inspectie op drijfslagen, gebaseerd op een indeling in categorieën en uitgevoerd door verschillende personen in één meer, levert onnauwkeurigheden op. Daarnaast kunnen drijfslagen van blauwalgen binnen korte tijd opkomen en weer verdwijnen, waardoor zo'n drijfslag heel gemakkelijk kan worden gemist als waarnemers op een vast moment van de dag een observatie doen. Dit beïnvloedt de zuiverheid van de validatieresultaten. In 2007 en 2008 traden relatief weinig grote problemen met blauw-

algendrijfslagen op. Het instrument moet dan heel gevoelig zijn om juist op die weinige drijfslagmomenten goed te presteren. Een globale analyse van drijfslagvorming in 2006 lijkt aan te geven dat het model beter presteert in zware drijfslaagjaren.

Voortgang

Dit jaar zijn meer kwantitatieve veldgegevens verzameld. Daarmee wordt voortgebouwd op de ervaring van de waarnemers in 2007 en 2008. Voor het Gooi- en Eemmeer wordt de situatie nu doorgerekend en vergeleken met de validatiegegevens. Eind dit jaar begint onderzoek naar de factoren die een correcte voorspelling belemmeren. Aanvullende kennis over de sleutelprocessen in drijfslagvorming is nodig om de kennisregels over de dynamiek van drijfslagen te verbeteren. Door het NIOO-KNAW wordt samen met de Universiteit van Amsterdam experimenteel werk verricht gerelateerd aan het ontstaan en verdwijnen van drijfslagen, waarbij de samenhang met turbulente menging voor verschillende groepen blauwalgen wordt beschouwd. In waterbassins van twee kubieke meter, waar licht, nutriënten en turbulentie ingesteld kunnen worden, zal worden getest onder welke omstandigheden drijfslagen gevormd worden en weer verdwijnen. In de experimenten is ook een nauwkeurigere koppeling tussen model en waarneming mogelijk, wat de validatie sterk ten goede zal komen. De kennis die wordt gegenereerd, zal in 2010 in het model worden geïmplementeerd en getest op de datasets van de projectplassen. Op basis van de te verwachten invloed van sommige beperkende modelconcepten (zie discussie) en de kennisontwikkeling zal ook worden nagegaan of het mogelijk is het model verder te verbeteren. Nagegaan kan worden of een meer deterministische benadering betere resultaten oplevert dan de nu op *fuzzy logic* gebaseerde modellering.

NOTEN

- * Ibelings en Chorus gaven in 2007 aan dat 2,5 µg per kilo lichaamsgewicht de bovengrens is voor de toelaatbare eenmalige inname van microcystines (de meest voorkomende groep van blauwalgtoxines). Gebruik makend van metingen van de universiteit van Wageningen aan microcystines in drijfslagen betekent dit dat bij een kind dat tien kilo weegt, inname van slechts één milliliter al leidt tot overschrijding van deze grens. Bij herhaalde blootstelling, zoals tijdens een vakantie met regelmatig bezoek aan een recreatieplas, ligt de grens al bij enkele tienden van milliliters. Voor de goede interpretatie: de 2,5 µg per kilo lichaamsgewicht is gebaseerd op hetzelfde onderzoek dat leidde tot de één µg per liter-norm voor microcystine in drinkwater. Volgens gangbare methoden in toxicologisch onderzoek is de laagste waarde die bij ratten tot schade leidt, gecorrigeerd met een onzekerheidsfactor van 1.000 maal. De 2,5 µg per kilo lichaamsgewicht moet worden gezien als een *worst case-scenario*. Duidelijk is wel dat een kleine hoeveelheid drijfslag een grote dosis microcystine kan bevatten.

LITERATUUR

- 1) Ibelings B., M. Vonk, F. Los, D. van der Molen en W. Mooij (2003). Fuzzy modeling of cyanobacterial waterblooms: validation with NOAA-AVHRR images. *Ecological Applications* nr. 13, pag. 1456-1472.
- 2) STOWA (2008). Voorspellingsstelsel blauwalgen. Resultaten pilots 2007. Rapport 2008-11.
- 3) STOWA (2009). Voorspellingsstelsel blauwalgen. Resultaten pilots 2008. Rapport 2009-14.