

RAPPORT

Cyanobacteriën in Biesboschspaarbekken De Gijster

Een actueel overzicht van de problemen en risico's

Arco Wagenvoort



AqWa
ecologisch advies

Cyanobacteriën in Biesboschspaarbekken De Gijster

Een actueel overzicht van de problemen en risico's

Arco Wagenvoort

Foto: Drijfslag van cyanobacteriën (www.waternetwerk.nl)

referentienummer: AqWa - Evides T&B 2009R33

Wilhelminadorp, 20 januari 2010

AqWa – ecologisch advies

Oosthavendijk 43

4475 AB WILHELMINADORP

T: 06 – 44 97 03 05

E: AqWa@zeelandnet.nl

Copyright © 2010, AqWa.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van AqWa.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information retrieval system without permission from AqWa.

Op adviezen in deze rapportage zijn de algemene voorwaarden van AqWa van toepassing.

Samenvatting

Voor drinkwaterproductielocaties in Zuidwest Nederland die 1,6 miljoen consumenten hebben, vormt het voorgezuiverde water uit de Biesboschspaarbekkens de grondstof.

Enkele jaren geleden heeft Evides aan de Provincie Noord-Brabant een verlenging aangevraagd van een in 1969 verleende ontgrondingvergunning. Door het verdiepen van de randzones van het spaarbekken De Gijster wil Evides cyanobacteriëngroei tegengaan en de voorraadcapaciteit vergroten.

Er zijn drie typen problemen die samenhangen met cyanobacteriën bij de drinkwaterproductie door Evides. Alle drie worden ze bevorderd door het aanwezige ondiepe voorland in De Gijster:

1. De productie van toxines (gifstoffen), die gevaarlijk kunnen zijn voor de mens, door cyanobacteriën. In De Gijster komen soms concentraties voor, die de door de WHO-voorgestelde drinkwaternorm overschrijden. Hierdoor zijn de gehalten in het voorgezuiverde Biesboschwater dat naar de productielocaties gaat soms ook te hoog. Omdat de hoeveelheid toxines in het water gerelateerd is aan de hoeveelheid cyanobacteriën, is de ontwikkeling van grote hoeveelheden algen ongewenst.
2. Een tweede probleem vormen de fysieke effecten van cyanobacteriën. Bij een sterke toename van algen in het water, zoals bij cyanobacteriebloeien, kunnen op de productielocaties de microzeven verstopt raken, waardoor niet alle zuiveringsstappen volledig worden doorlopen.
3. Een derde probleem is de productie van geur- en smaakstoffen door bodembewonende cyanobacteriën. Deze geur- en smaakstoffen zijn ongevaarlijk voor de mens, maar ze geven het water al bij zeer lage concentraties een muffe smaak. Deze stoffen worden in bepaalde perioden geproduceerd, en zijn over het algemeen met inzet van extra middelen in de zuivering weer te verwijderen, maar dit brengt kosten met zich mee.

Door de aanwezigheid van het ondiepe voorland in De Gijster zijn de condities geschikt voor het ontstaan van *planktonische* cyanobacteriebloeien. Water met cyanobacteriën wordt doorgezet naar de volgende spaarbekkens en dit vormt de ent voor een sterkere ontwikkeling in deze bekkens. Dit leidt periodiek tot een hoge biomassa aan cyanobacteriën en een hoog toxinegehalte in het voorgezuiverde Biesboschwater dat tot drinkwater moet worden gezuiverd. Daarnaast vergroot het ondiepe voorland in De Gijster bij lage waterstanden de kans op de ontwikkeling van de *bodembewonende* cyanobacteriën, die ongewenste geur- en smaakstoffen kunnen produceren.

Aangezien in de toekomst mogelijk vaker en langduriger cyanobacteriebloeien optreden, zal de kans op het ontstaan van overschrijdingen van de drinkwaternorm voor toxines en hoge algenbiomassa's alleen maar toenemen. Daarnaast zullen lage waterstanden in de toekomst mogelijk vaker voor kunnen komen en neemt de kans op de productie van geur- en smaakstoffen toe. Uitgaande van deze problemen en een aantal randvoorwaarden (onder andere technische haalbaarheid, kosten en duurzaamheid) kwam uit een onderzoek naar de meest geschikte oplossingsrichting de optie "aanpassen morfologie" als beste oplossingsrichting naar voren. Deze oplossingsrichting is brongericht, eenvoudig en robuust en pakt zowel de *benthische* als de *planktonische* cyanobacteriën aan. Naast mogelijke maatschappelijke weerstand zijn er geen andere nadelen, en de ingreep kan waarschijnlijk kostenneutraal worden uitgevoerd.

De huidige ontwikkeling van *planktonische* en *benthische* cyanobacteriën is respectievelijk vergelijkbaar of sterker dan zo'n 15 jaar geleden, waardoor de eerder waargenomen proble-

men nog actueel zijn. Gezien de klimatologische vooruitzichten zullen deze problemen ook de komende decennia actueel blijven. Aangezien geconcludeerd is dat er reële kansen bestaan op problemen door hoge dichtheden cyanobacteriën, is het wenselijk om te zoeken naar oplossingen die gericht zijn op het tegengaan van cyanobacteriën. Naast hoge biomassa's aan cyanobacteriën kunnen ook soorten uit warmere streken, zoals *Cylindrospermopsis raciborskii* dat het cytotoxine, cylindrospermopsine, kan produceren, voor (nieuwe) problemen gaan zorgen. Aangezien ook duidelijk is dat het ondiepe voorland in De Gijster een belangrijke rol speelt bij het ontstaan van de problemen, is het verdiepen van dit voorland nog steeds de meest efficiënte oplossing.

Uit deze actualisatie komt onder meer het volgende naar voren:

- De gehalten van de voedingsstoffen N (in de vorm van nitraat) en P (in de vorm van fosfaat) in de rivier de Maas de laatste 10 jaar zijn duidelijk (in een vergelijkbare mate, $\pm 20\%$) afgenomen, maar de hoeveelheden voedingsstoffen in de rivier de Maas zijn ook nu nog (zeer) hoog. In het voorgezuiverde Biesboschwater is het gehalte aan totaal fosfaat de laatste 5 jaar (2004 tot en met 2008) hoger dan midden jaren negentig.
- De totale algenbiomassa (chlorofyl *a*) is de laatste 10 tot 15 jaar in spaarbekken De Gijster en het voorgezuiverde Biesboschwater (met 30 tot ruim 50%) duidelijk afgenomen.
- In zowel spaarbekken De Gijster als in het voorgezuiverde Biesboschwater was het biovolume aan cyanobacteriën de laatste 10 tot 15 jaar vergelijkbaar en kon geen verandering worden vastgesteld.
- Voor het voorgezuiverde Biesboschwater wordt gesteld dat de door de WHO voorgestelde drinkwaternorm voor toxines, van 1 $\mu\text{g/l}$, regelmatig wordt overschreden, want deze waarden komen overeen met een toxinegehalte van 3,6 $\mu\text{g/l}$ met een maximum van 21,7 $\mu\text{g/l}$. Tot op dit moment werd echter verondersteld dat dit geen gevaar oplevert voor de volksgezondheid, omdat in de drinkwaterzuiveringen, mits optimaal functionerend, de toxines grotendeels worden verwijderd. Ook dan zal direct gevaar voor de volksgezondheid zeer beperkt zijn, omdat de voorgestelde norm is opgesteld uitgaande van een levenslange blootstelling.
- Het is niet de verwachting dat *planktonische* cyanobacteriën in de toekomst een probleem met geur- en smaakstoffen zullen veroorzaken. De hoge biomassa van 1995 en 2007 kan incidenteel leiden tot een theoretisch extracellulair geosmine-gehalte van respectievelijk 2 en 7 ng/l hetgeen op het niveau van de waarneembare reukgrens van 5 ng/l ligt.
- De productie van geosmine in spaarbekken De Gijster is de laatste 10 tot 15 jaar toegenomen, waardoor in spaarbekken De Gijster en het voorgezuiverde Biesboschwater hogere concentraties van deze geur- en smaakstof worden gevonden (respectievelijk met 250 tot ruim 180%). De bestrijding in spaarbekken Petrusplaat alleen was de laatste jaren door de productie in spaarbekken De Gijster niet toereikend om lage gehalten in het voorgezuiverde Biesboschwater te garanderen. In 2005 bedroeg het geosmine gehalte 12 ng/l , hetgeen tot klachten van consumenten leidde.

In dit rapport zijn “nieuwe” bestrijdingsmethoden beoordeeld op de toepasbaarheid voor de Biesbosch spaarbekkens en voor spaarbekken De Gijster in het bijzonder.

Het gebruik van Effectieve Micro-organisme en de toepassing van ultrasoon geluid blijkt geen effect te hebben op de biomassa van cyanobacteriën. De algenbiomassa blijkt bij de toepassing van deze bestrijdingsmethoden zelfs toe te kunnen nemen. De drie andere methoden, fosfaatlimitatie met Phoslock, waterbehandeling met de Scavenger en de behandeling met waterstofperoxide, blijken de hoeveelheid planktonische cyanobacteriën terug te brengen of de ontwikkeling te beperken. Van deze methoden is de methode met waterstofperoxide in kosten veruit het voordeligst en worden met de behandeling met

Phoslock en waterstofperoxide goede resultaten in veldsituaties behaald. Alle drie de methoden zijn relatief kostbaar en moeten regelmatig worden herhaald.

De bestrijdingsmethoden hebben echter geen beperkend effect op de benthische cyanobacteriën. De kans op een sterke toename van geosmine producerende benthische cyanobacteriën bij een behandeling met Phoslock neemt zelfs duidelijk toe. Daarnaast bestaat er een kans dat door de toepassing van Phoslock een sterke ontwikkeling van waterplanten op het voorland mogelijk wordt. Gezien het grote areaal van het voorland kunnen deze waterplanten voor nieuwe problemen gaan zorgen.

Het water van de Maas wordt de laatste jaren geleidelijk minder troebel en bevat minder voedingsstoffen, waardoor de kansen voor waterplanten bij ongewijzigd beleid en beheer zullen kunnen gaan toenemen. Aangezien duidelijk is dat het ondiepe voorland in De Gijster een belangrijke rol speelt bij het ontstaan van beide problemen, is het verdiepen van het voorland de meest efficiënte oplossing. Door het verdiepen verandert de morfologie, waardoor de menging verbetert. Daarnaast wordt het huidige voorland te diep voor wortelende waterplanten en benthische cyanobacteriën en zal een toenemende kans voor deze groep door het beperkte areaal niet tot grote problemen leiden

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Inhoudsopgave	6
1 Inleiding	7
2 Gegevensverwerking	9
3 Ontwikkeling van het probleem	11
3.1 Voedingsstoffen	12
3.2 Algenbiomassa	13
3.3 Cyanobacterietoxines	15
3.4 Geur- en smaakstoffen	18
3.5 “Alternatieve” bestrijdingsmethoden	22
3.5.1 Fixatie van fosfor door Phoslock™ (Flock en Lock-methode)	24
3.5.2 Effectieve micro-organisme™	26
3.5.3 Scavenger®	27
3.5.4 Waterstofperoxide	27
3.5.5 Ultrasoongeluid	28
3.5.6 Samenvatting bestrijdingsmethoden	29
4 Conclusies	31
4.1 Voedingsstoffen	31
4.2 Algenbiomassa en toxines	32
4.3 Geur en smaakstoffen	32
4.4 “Nieuwe” bestrijdingsmethoden	33
Literatuur	34
Bijlage 1	
Kentallen voedingsstoffen voor algen in de Biesboschspaarbekkens van 1990 tot en met 2008	36

1 Inleiding

In de Brabantse Biesbosch heeft Evides Waterbedrijf N.V. (voorheen N.V. Waterwinning-bedrijf Brabantse Biesbosch) drie spaarbekkens in beheer (Figuur 1.1). In deze spaarbekkens wordt water uit de Maas opgeslagen voor drinkwaterbereiding (Box 1 “Drie spaarbekkens in de Brabantse Biesbosch als bron voor drinkwater”).

In 1995 was er in deze spaarbekkens sprake van een sterke toename van (planktonische) cyanobacteriën, waardoor er problemen optraden bij de zuivering van het water. In 2005 was het bekkenpeil tijdelijk verlaagd en trad er een sterke toename van bodembedekkende cyanobacteriën op, waardoor grote hoeveelheden geur- en smaakstoffen werden geproduceerd die tot klachten van consumenten van het geproduceerde drinkwater leidden. Uit onderzoek bleek dat de sterke toename van cyanobacteriën mogelijk werd gemaakt door de ondiepe randzones van het eerste van de drie in serie geschakelde spaarbekkens: De Gijster.

Om sterke cyanobacteriëngroei in de toekomst tegen te gaan heeft Evides aan de Provincie Noord-Brabant een verlenging aangevraagd van de in 1969 verleende ontgrondingvergunning. Het doel is om de randzones van het spaarbekken De Gijster alsnog op dezelfde diepte te brengen als de rest van het bekken.

De Provincie Noord-Brabant was echter niet volledig overtuigd van het probleem en de voorziene oplossing door middel van een verdere ontgronding, dan wel het ontbreken van alternatieven om dit op te lossen. In opdracht van de Provincie Noord-Brabant heeft Grontmij | AquaSense in 2005 een nader onderzoek uitgevoerd. Uit dit onderzoek kwam de optie “aanpassen morfologie” als beste oplossingsrichting naar voren (Wessels *et al.*, 2006). Deze oplossingsrichting is brongericht, eenvoudig en robuust en pakt zowel de benthische als de planktonische cyanobacteriën aan. Naast mogelijke maatschappelijke weerstand zijn er geen andere nadelen, en de ingreep kan waarschijnlijk kostenneutraal worden uitgevoerd.



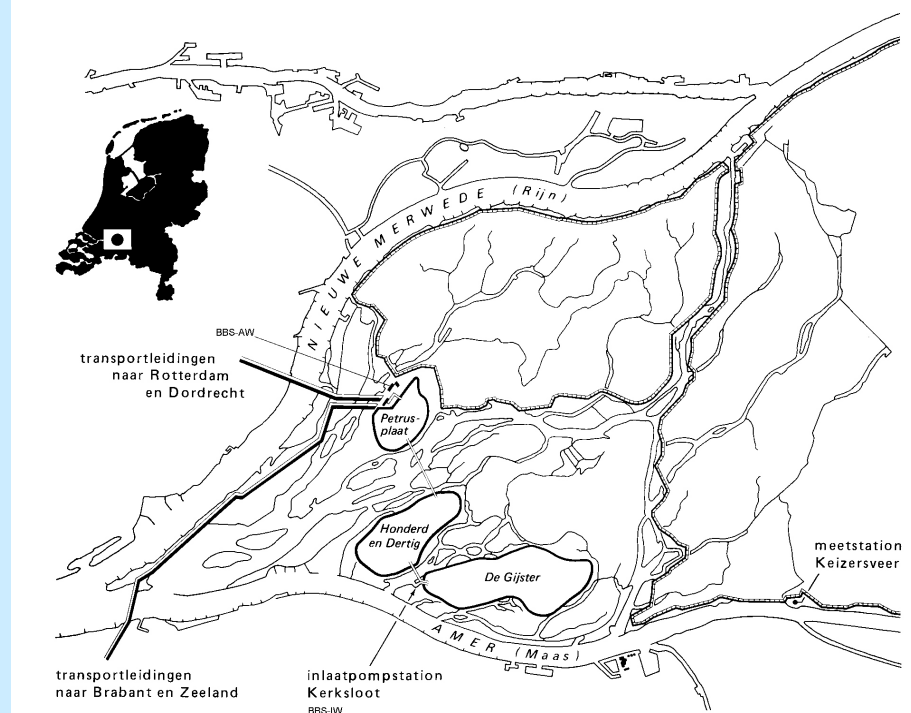
Figuur 1.1

De Biesboschspaarbekkens. Van voor naar achteren De Gijster, Honderd en Dertig en de Petrusplaat. (Foto N.V. WBB Werkendam)

In het voorjaar van dit jaar heeft Evides waterbedrijf AqWa – ecologisch advies gevraagd om te beoordelen of de problemen als gevolg van een sterke groei van cyanobacteriën nog actueel zijn. In dit rapport is een actueel overzicht gegeven van de ernst van het probleem in De Gijster in relatie tot de drinkwaterbereiding door de meest recente gegevens toe te voegen aan de gegevensset van Wessels *et al.* (2006) en de nieuwe gegevens te beoordelen. Momenteel worden er in Nederland een aantal “nieuwe” bestrijdingsmethoden om de overlast door planktonische cyanobacteriën te verminderen getest. Deze methoden met hun werkingsprincipe zijn in dit rapport opgenomen. Aanvullend wordt een inschatting gemaakt of één of meerdere van deze methoden een alternatief voor het afgraven van het voorland kunnen zijn.

Box 1

Drie spaarbekkens in de Brabantse Biesbosch als bron voor drinkwater



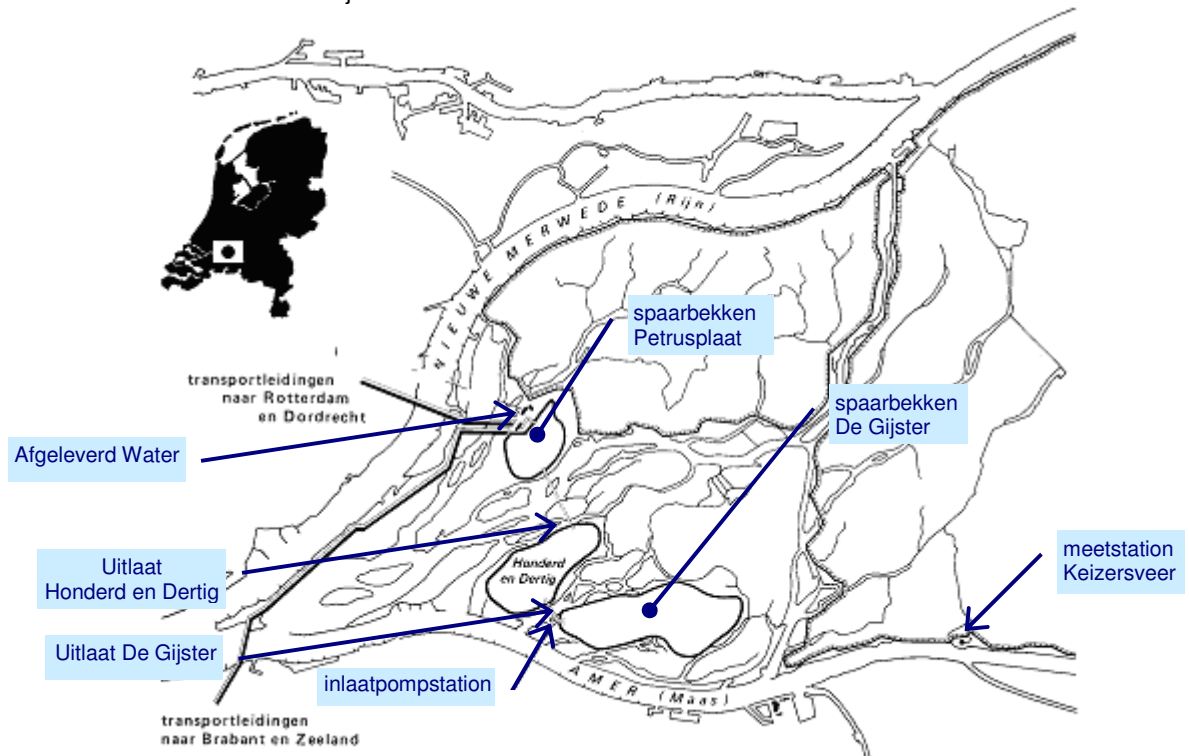
Begin jaren zeventig zijn in de Brabantse Biesbosch drie grote spaarbekkens aangelegd. Ingenomen water uit de Maas wordt tijdelijk hierin opgeslagen, voordat het wordt gezuiverd tot drinkwater. De totale opslagcapaciteit van de bekkens bedraagt 80 miljoen m³. Met de bekkens kan een periode van ruim twee maanden overbrugd worden, zonder dat de productie van drinkwater in gevaar komt. Een groot voordeel van deze bekkens is daarnaast, dat het Maaswater selectief wordt ingenomen. Hierdoor maken we uitsluitend gebruik van de beste kwaliteit water van de rivier. In de bekkens heeft het water een gemiddelde verblijftijd van bijna vijf maanden, waarbij het zelfreinigend vermogen ervoor zorgt dat de waterkwaliteit vanzelf sterk verbetert. In het laatste bekken wordt het water onthard, waarna het naar de vier productielocaties wordt gepompt (Baanhoek, Berenplaat en Kralingen in het Rijnmond-gebied en Braakman in Zeeuws-Vlaanderen). Daar wordt het ruwe water tot drinkwater verwerkt voor in totaal 1,6 miljoen consumenten. De zuivering in de Berenplaat is het grootst. Hier wordt drinkwater geproduceerd voor ongeveer de helft van het totaal aantal consumenten.

Bron: www.evides.nl

2 Gegevensverwerking

Wessels *et al.* (2006) hebben in hun rapport verschillende gegevens geïnterpreteerd, te weten:

- De ontwikkeling van cyanobacteriën in de waterkolom van spaarbekken De Gijster en de biomassa in het Afgeleverd Water over de jaren 1990 tot en met 2004;
- De gehalten aan voedingsstoffen die een rol spelen bij de ontwikkeling van algen op verschillende meetpunten van 1990 tot en met 2004;
- De productie van geur- en smaakstoffen in de verschillende spaarbekkens van 1988 tot en met het voorjaar van 2005.



Figuur 3.1
Overzicht van meetpunten.

In figuur 3.1 is een overzicht opgenomen van de verschillende meetpunten, waarop Evides op routinematige basis onderzoek uitvoert. Uit de gegevensset van dit onderzoek zijn verschillende parameters geselecteerd en is de gegevensset van Wessels *et al.* (2006) aangevuld. Op deze wijze is een actueel overzicht verkregen van de problemen veroorzaakt door cyanobacteriën in de Biesboschspaarbekken. In tabel 2.1 is een overzicht opgenomen van de parameters die bij deze inventarisatie zijn gebruikt.

Om veranderingen in de tijd te toetsen zijn de resultaten van de afgelopen vijf jaar (2004 tot en met 2008) vergeleken met de resultaten van het midden van de negentiger jaren uit de vorige eeuw (1993 tot en met 1997). Hiervoor werden de gegevens vergeleken met een t-toets die met behulp van MSExcel werd uitgevoerd.

Daarnaast is een inventarisatie gemaakt van “nieuwe” bestrijdingsmethoden, waarbij het werkingsmechanisme is beschreven. Deze methoden zijn beoordeeld op de mogelijkheid of ze een alternatief kunnen zijn voor het afgraven van het voorland.

Tabel 2.1

Overzicht van meetpunten (in de volgorde van de Biesbosch-cascade) en parameters gebruikt in deze inventarisatie.

meetpunt	soort parameter	individuele parameter
Keizersveer	voedingsstoffen	totaal fosfaat
		nitraat
		silicaat
		chlorofyl <i>a</i>
Inlaatpompstation	totale algenbiomassa geur- en smaakstoffen	geosmine
		2-methylisoborneol
Spaarbekken De Gijster	algenbiomassa	totaal biovolume fytoplankton
		totaal biovolume cyanobacteriën
Uitlaat De Gijster	voedingsstoffen	totaal fosfaat
		nitraat
		silicaat
	totale algenbiomassa geur- en smaakstoffen	chlorofyl <i>a</i>
		geosmine
		2-methylisoborneol
Uitlaat Honderd en Dertig	geur- en smaakstoffen	geosmine
		2-methylisoborneol
Spaarbekken Petrusplaat	geur- en smaakstoffen	duikinventarisaties benthische cyanobacteriën
Afgeleverd Water	voedingsstoffen	totaal fosfaat
		nitraat
		silicaat
	totale algenbiomassa algenbiomassa	chlorofyl <i>a</i>
		totaal biovolume fytoplankton
	geur- en smaakstoffen	totaal biovolume cyanobacteriën
		geosmine 2-methylisoborneol

3 Ontwikkeling van het probleem

In het spaarbekken De Gijster wordt Maaswater ingenomen. Dit water is het hele jaar door rijk aan voedingsstoffen (Bijlage 1). Voedingsstoffen zoals stikstof (N) en fosfor (P) vormen voor algen essentiële bouwstoffen, waarmee ze met behulp van lichtenergie celmateriaal kunnen opbouwen. Grote hoeveelheden aan de voedingsstoffen N en P kunnen algenbloei tot gevolg hebben. Door het voedselrijke Maaswater kunnen dus ook in De Gijster algenbloeiën optreden.

Er zijn verschillende soorten algen, zoals groenalgen, bruinalgen en blauwalgen. Een meer correcte naam voor de (qua celbouw) op bacteriën gelijkende blauwalgen is "cyanobacteriën". Binnen de groep cyanobacteriën bestaan soorten met specifieke eigenschappen, waardoor ze ondanks een lage groeisnelheid aan het einde van de zomer een grote biomassa kunnen bereiken. Dit zijn onder andere cyanobacteriën van de geslachten *Microcystis*, *Aphanizomenon* en *Anabaena*. Deze soorten kunnen gasvacuoles (eiwitstructuren waarin gas zit) aanmaken, waardoor ze lichter worden en snel naar de oppervlakte kunnen stijgen. Aan het oppervlak kunnen ze met behulp van licht celmateriaal aanmaken (fotosynthese), waarbij eerder in de diepere waterlagen opgeslagen voedingsstoffen worden gebruikt. Daarnaast bezitten enkele soorten de aanleg om onder stikstofbeperkende omstandigheden met gespecialiseerde cellen (heterocysten) opgelost stikstofgas vast te leggen.

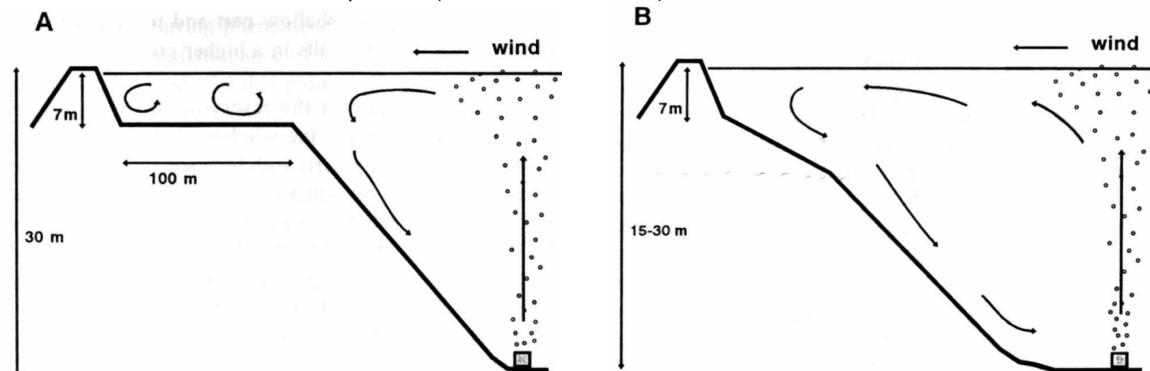
Bloeien van cyanobacteriën zijn vooral te verwachten aan het eind van de zomer als het water opgewarmd is, omdat deze algen warmteminnend zijn. Bij windstil weer kunnen dikke drijfslagen ontstaan. Bloeien van cyanobacteriën en zeker drijfslagen zijn zeer ongewenst in drinkwaterspaarbekkens, omdat ze stoffen (onder meer microcystines) kunnen produceren, die voor de mens toxisch zijn.

Het water in De Gijster en de twee procesbekkens wordt kunstmatig gemengd via injectie van lucht vanaf de bodem. Dit heeft een tweeledig doel. Enerzijds treedt hierdoor in de zomermaanden geen gelaagdheid van temperatuur en zuurstof op, waardoor zuurstofloosheid, rotting, nalevering van fosfaat en vissterfte voorkomen wordt. Anderzijds zorgt de beluchting ervoor dat algen naar de diepere delen getransporteerd worden, waar het geringe licht beperkend is voor groei. De totale hoeveelheid algen blijft mede door deze beheermaatregel laag vergeleken met de potentiële waarden. Uit de gegevens van Wessels *et al.* (2006) kan worden berekend dat de waargenomen algenbiomassa slechts 10 tot 15% van de potentiële algenbiomassa bedraagt.

In de nazomer van 1995 nam de biomassa van cyanobacteriën (cyanobacteriën) sterk toe in De Gijster en in het afgeleverde "ruwe" water (Figuur 3.2). Door de fysieke toename van algencellen in het ruwe water hebben de afnemende drinkwaterproductiebedrijven problemen ondervonden bij het zuiveringsproces (WBB, 1996), waardoor na zuivering nog steeds algencellen in het water voorkwamen (Wessels *et al.*, 2006).

Naar aanleiding van deze problemen is onderzoek gestart naar de oorzaken van het optreden van de uitbundige cyanobacteriegroei in de spaarbekkens en methoden voor het verwijderen ervan. Uit een uitgebreide modelstudie bleek dat een belangrijke oorzaak van de problemen is gelegen in de morfologie van het spaarbekken De Gijster (Ibelings, 1996). De Gijster is in vergelijking met de andere bekkens over een groot oppervlak (circa 110 ha.) relatief ondiep. Op dit ondiepe 'voorland' is de beluchting, die moet zorgen voor menging om algenontwikkeling tegen te gaan, weinig effectief (Figuur 3.1). Het ondiepe voorland kan bij rustig warm weer leiden tot een snelle groei van drijfslagvormende cyanobacteriën. De bloei in De Gijster vormt de ent voor de ontwikkeling in de twee procesbekkens. In deze bekkens

zelf zijn ontwikkelingsmogelijkheden voor cyanobacteriën, door de vorm en grotere mengsnelheid, beperkt. Het verdiepen van het voorland is zowel gericht op het tegengaan van cyanobacteriëntonwikkeling in de waterkolom als op de bodem. Door het verdiepen van het voorland zal het water langs de rand minder snel opwarmen en beter gemengd worden met het diepe deel (Wessels *et al.*, 2006).



Figuur 3.1

Geschematiseerde dwarsdoorsnede van de effectiviteit van de kunstmatige menging door middel van de injectie van lucht in spaarbekken De Gijster (A) en spaarbekken Petrusplaat en Honderd en Dertig (B) (uit: Van Breemen & Ketelaars, 1995).

3.1 Voedingsstoffen

De gehalten van de voedingsstoffen N (in de vorm van nitraat) en P (in de vorm van fosfaat) zijn in de rivier de Maas de laatste 10 jaar duidelijk (in een vergelijkbare mate) afgenomen (Tabel 3.1). Hierdoor zijn er enigszins minder voedingsstoffen voorhanden en zal de potentiële algenbiomassa iets zijn afgenomen. De hoeveelheden voedingsstoffen in de rivier de Maas moeten echter ook nu nog als (zeer) hoog worden aangemerkt. Tijdens het verblijf in de Biesboschspaarbekkens en door de ontharding met calciumhydroxide in spaarbekken Petrusplaat dalen de gehalten aan N en P, waarbij vooral het gehalte aan P sterk terugloopt. In het voorgezuiverde Biesboschwater (Afgeleverd Water) worden veel kleinere verschillen waargenomen en is het actuele fosfaatgehalte hoger dan 10 jaar geleden. In de Biesboschspaarbekkens is de verhouding tussen N en P enigszins lager geworden. Echter, door het nog hoge nitraat gehalten zal het competitief voordeel van N-fixerende cyanobacteriën ten opzichte van andere algen nog zeer gering zijn.

In zowel de Maas als in de Biesboschspaarbekkens is de beschikbaarheid aan silicaat sterk toegenomen. Tot enkele jaren gelden was het gehalte aan silicaat aan het einde van het voorjaar en in de zomer beperkend voor de ontwikkeling van diatomeeën (Wagenvoort, 2005a). Momenteel is silicaat altijd in voldoende mate in de Biesboschspaarbekkens aanwezig, waardoor diatomeeën zich het hele jaar kunnen blijven ontwikkelen. De toename van silicaat kon worden toegeschreven aan de activiteit van een exotische aasgarnalensoort, *Hemimysis anomala* (Carpentier *et al.*, 2000).

Tabel 3.1

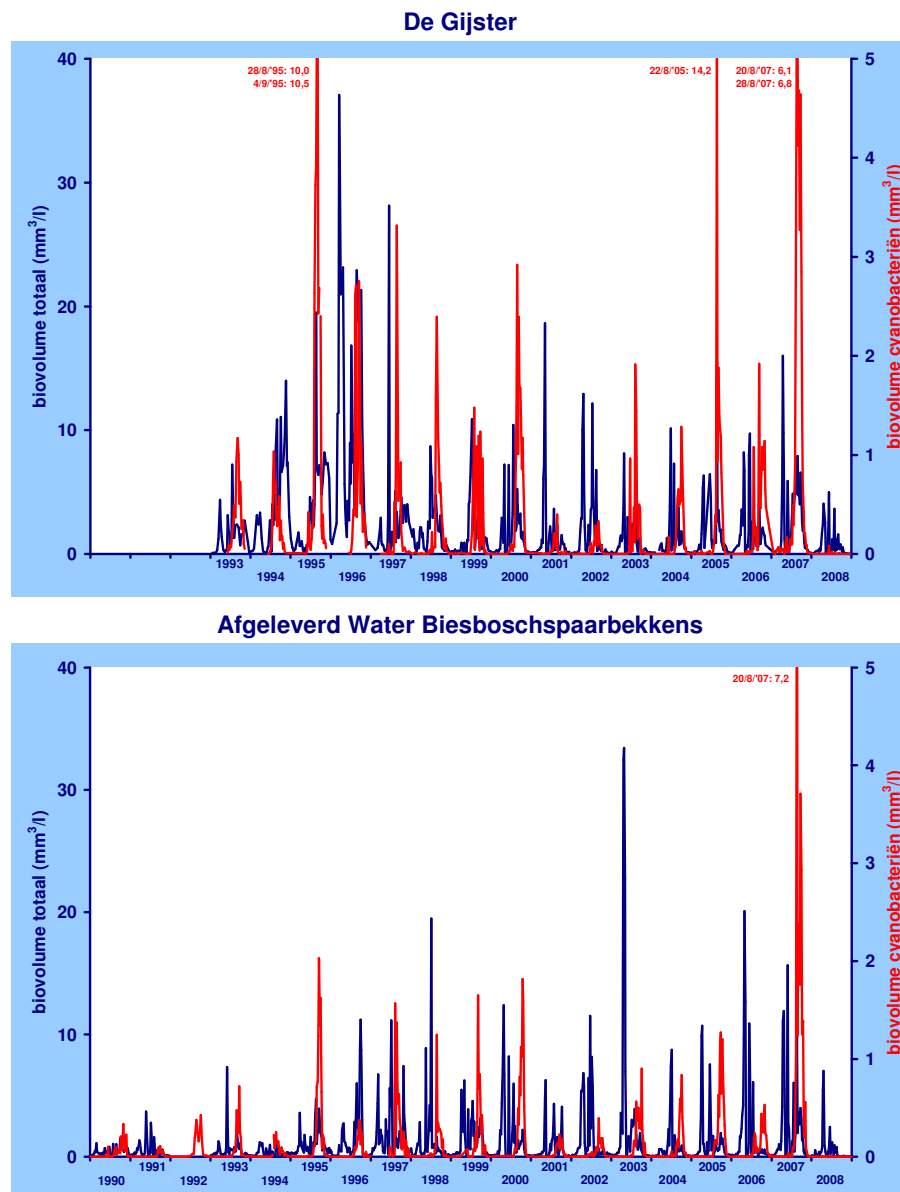
Vergelijking van de gehalten aan voedingsstoffen in de Maas te Keizersveer en het ruwe water dat naar de productielocaties gaat (Afgeleverd Water).

voedingsstof	gemiddeld gehalte in:		t-waarde	toetsing df	p-waarde	conclusie
	1993 t/m 1997	2004 t/m 2008				
Maas te Keizersveer						
nitraat (mg/l N)	4.18	3.48	6.73	127	< 0.001	sterke afname (17%)
totaal fosfaat (mg/l P)	0.280	0.224	3.25	148	< 0.001	sterke afname (20%)
silicaat (mg/l Si) [†]	2.31	3.29	-4.32	63	< 0.001	sterke toename (42%)
Afgeleverd Water Biesboschspaarbekkens						
nitraat (mg/l N)	3.17	2.93	3.64	173	< 0.001	afname (7%)
totaal fosfaat (mg/l P)	0.068	0.080	-4.96	203	< 0.001	sterke toename (17%)
silicaat (mg/l Si)	0.73	2.60	-31.7	424	< 0.001	zeer sterke toename (260%)

¹ : van de oude periode alleen gegevens van 1995 tot en met 1997 beschikbaar

3.2 Algenbiomassa

In figuur 3.2 is het biovolume als maat voor de hoeveelheid algen in spaarbekken De Gijster en het voorgezuiverde Biesbosch water, dat naar de productielocatie wordt getransporteerd (Afgeleverd Water), weergegeven. Uit deze figuur komt duidelijk naar voren dat de ontwikkeling van algen een seizoensgebonden verloop kent. In de winter is de algenbiomassa laag en neemt in het vroege voorjaar (door de ontwikkeling van diatomeeën) sterk toe. Daarna is er rond mei een periode dat er weinig algen in het water zijn, de “helder waterfase”. In de zomer neemt de algenbiomassa toe en in deze periode neemt ook de biomassa van de cyanobacteriën sterk toe. De biomassa van cyanobacteriën is van juli tot en met september op haar hoogtepunt. In de herfst neemt de algenbiomassa sterk af, waarbij de bloei van cyanobacteriën soms tot in oktober aanhoudt. De bloeien van cyanobacteriën in spaarbekken De Gijster vormen een grote ent voor de ontwikkeling van cyanobacteriën in de volgende twee bekkens in datzelfde jaar en het daarop volgende jaar. Daarnaast zal een deel van de bloeien door het transport van het ene naar het andere spaarbekken in enige mate bijdragen aan de biomassa in de laatste spaarbekkens.



Figuur 3.2

Totale algenbiomassa en biomassa (uitgedrukt in biovolume) cyanobacteriën in spaarbekken De Gijster en het ruwe water dat naar de productielocaties gaat (Afgeleverd Water).

—: totale biomassa algen; —: biomassa cyanobacteriën.

Als het verloop van de cyanobacteriën op het oog worden beoordeeld. Dan blijkt dat de ontwikkeling van cyanobacteriën in spaarbekken De Gijster de laatste jaren tot een vergelijkbare algenbiomassa heeft geleid als in 1995. In het voorgezuiverde Biesboschwasser is de biomassa aan cyanobacteriën sinds 1995 hoger dan de jaren ervoor en was de biomassa in 2007 hoger dan ooit. Opmerkelijk is de lage algenbiomassa (op beide monsterpunten) in 2008, wat ook in andere Nederlandse wateren werd geconstateerd (o.a. Wagenvoort & Pex, 2009). Dit jaar werd gekenmerkt door een warm voorjaar en een weliswaar warm maar zeer nat en bewolkte zomer. Dit zal de menging van de algen hebben bevorderd en samen met de lagere instraling de groei van cyanobacteriën hebben beperkt.

Tabel 3.2

Vergelijking van de algenbiomassa (periode juli tot en met september, tenzij anders vermeld) in spaarbekken De Gijster en het ruwe water dat naar de productielocaties gaat (Afgeleverd Water).

algenbiomassa maat	gemiddelde in:		t-waarde	toetsing		conclusie
	1993 t/m 1997	2004 t/m 2008		df	p-waarde	
Spaarbekken De Gijster						
chlorofyl (µg/l) gehele jaar	13.6	5.5	5.66	84	< 0.001	sterke afname (60%)
chlorofyl (µg/l)	18.9	8.0	4.45	22	< 0.001	sterke afname (58%)
biovolume fytoplankton (mm³/l)	5.53	2.36	3.24	57	< 0.005	sterke afname (55%)
biovolume cyanobacteriën (mm³/l)	1.19	1.08	0.272	115	> 0.25	niet significant
Afgeleverd Water Biesboschspaarbekkens						
chlorofyl (µg/l) gehele jaar	6.8	4.6	2.73	114	< 0.005	sterke afname (32%)
chlorofyl (µg/l)	10.8	6.1	3.38	25	< 0.001	sterke afname (44%)
biovolume fytoplankton (mm³/l)	1.74	1.25	1.27	122	> 0.1	niet significant
biovolume cyanobacteriën (mm³/l)	0.28	0.43	-1.02	84	> 0.1	niet significant

In tabel 3.2 zijn de uitslagen van de toetsing van de algenbiomassa in de zomermaanden (juli tot en met september) opgenomen. Voor de algenbiomassa bestaan verschillende maten:

- Biovolume: met behulp van een microscoop worden algen in een geconcentreerd monster gedetermineerd en geteld. Daarnaast wordt het biovolume van de afzonderlijke algen bepaald aan de hand van dimensiemetingen (lengte, breedte en hoogte). Bij deze bepaling wordt alleen het fysiologisch actieve celmateriaal (dus met pigmenten zoals chlorofyl a) gemeten. Onder andere geleimantels en huisjes van cellen worden niet gemeten;
- Chlorofyl: alle algen passen fotosynthese toe (vastleggen van zonlicht in de vorm van suikers) en bezitten hiervoor pigmenten en hebben alle chlorofyl a. Dit chlorofyl a wordt uit algen geëxtraheerd en de hoeveelheid wordt met behulp van een spectrofotometer bepaald en is dus een totale biomassamaat voor het totaal van alle algen.

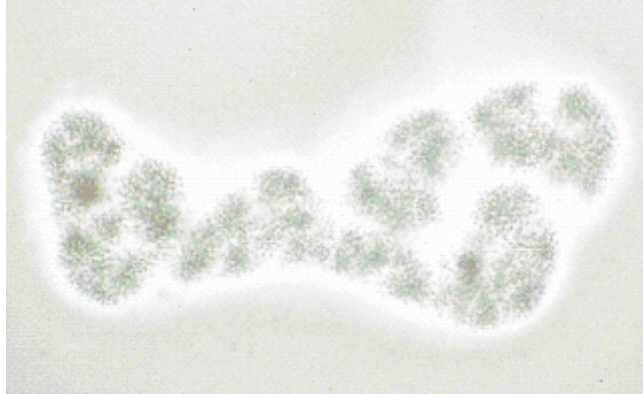
Tussen deze twee parameters bestaat een grove relatie. In grote lijnen is het chlorofyl a hoger als er meer algen (groter totaal biovolume) zijn. Het chlorofyl a gehalte per algencel (of biovolume-eenheid) is echter afhankelijk van een groot aantal factoren, onder meer:

- De soort alg (cyanobacteriën hebben veelal minder chlorofyl a dan andere algen, bijvoorbeeld groenalgen);
- Fysiologische staat van de alg (snelle groeifase, afstervende fase)
- Het tijdstip van de dag;

Bij het biovolume van cyanobacteriën, zoals *Microcystis* spp., dient te worden gerealiseerd dat de omvang van de geleimantel niet wordt meegenomen. De totale omvang kan dus aanzienlijk hoger zijn dan het biovolume van het fysiologisch actieve celmateriaal (Figuur 3.3). Op de productielocaties kunnen het fysiologische niet actieve celmateriaal, geleimantels, voor problemen zorgen, zoals het snel dichtslippen van de microzeven. Als gevolg hiervan kan in de zuiveringen een zogenaamde "bypass" ontstaan, waardoor ongefilterd water de volgende zuiveringsstappen binnentreedt. Het optreden van "bypass"-stromen is dus gebonden aan het ontstaan van grote dichtheden vrij in het water levende cyanobacteriën. Het ontstaan hiervan in de toekomst is niet uit te sluiten, aangezien dit in 1995 ook is voor-

gekomen. Daarnaast bestaat de algemene trend dat onze zomers warmer en droger worden als gevolg van “global warming”. Gezien de relatie tussen de groei van cyanobacteriën en de temperatuur is het waarschijnlijk dat in de toekomst vaker en langduriger cyanobacteriebloeien optreden (Bresser *et al.*, 2005). Dit betekent dat de kans op situaties zoals in 1995, met hoge biomassa's algen in het “ruwe” water, toeneemt en er dus een reëel probleem is. Dat de laatste jaren de waargenomen cyanobacteriënbioomassa vergelijkbaar (en mogelijk hoger) is met 1995, maar dat dit vaker optreedt, ondersteunt deze veronderstelling. Naast een sterkere ontwikkeling van soorten die nu al aanwezig zijn, zullen soorten uit warmere streken wellicht een kans krijgen om zich sterk te ontwikkelen. Deze mogelijke ontwikkeling werd in 2001 aangetoond door de eerste waarneming van de tropische soort, *Cylindrospermopsis raciborskii*, in Nederland (Van den Hove, 2001).

De totale algenbiomassa is de laatste 10 jaar in spaarbekken De Gijster en het voorgezuiverde Biesbosch duidelijk afgenomen (Tabel 3.2). In spaarbekken De Gijster is de totale algenbiomassa met ruim 50% afgenomen, terwijl de afname in het voorgezuiverde Biesboschwatar circa 1/3 bedroeg. In zowel spaarbekken De Gijster als in het voorgezuiverde Biesboschwatar was het biovolume aan cyanobacteriën (tijdens de zomermaanden) de laatste 10 jaar vergelijkbaar en kon geen verandering worden vastgesteld.



Figuur 3.3

Kolonie van *Microcystis aeruginosa*.

Door gebruik van verdunde Oost-Indische inkt, licht de geleidmantel als het ware op. Hierbinnen zijn de afzonderlijke cellen als zwarte bolletjes zichtbaar. De koloniegrootte van dit type cyanobacteriën kan enkele millimeters bedragen.

3.3 Cyanobacterietoxines

Sinds het einde van de negentiende eeuw is de toxiciteit van cyanobacteriën bij zoogdieren beschreven (Francis, 1878). Sindsdien zijn in eutrofe meren, verspreid over de gehele aarde, bloeien van toxische cyanobacteriën aangetroffen (Carmichael & Falconer, 1993). Vergiftiging door cyanobacterietoxines beperkt zich voornamelijk tot ziekte en sterfte in veestapels en wild, maar daarnaast zijn ook ziektegevallen (waaronder kanker) bij mensen beschreven, die veroorzaakt zijn door drinkwater en wateren die voor recreatiedoeleinden worden gebruikt (Carmichael & Falconer, 1993). Ook in Nederland zijn de laatste jaren vergiftigingen en massale vogelsterfte waargenomen (o.a. in 2002 in het Volkerak-Zoommeer, www.volkerakzoommeer.nl; Box 2, en in 2003 in de Oostvaardersplassen, Cyanobacteriën nieuwsbrief, 2004 nr 1). De incidenten betroffen in alle gevallen acute vergiftigingen als gevolg van recreatie in water met een hoge dichtheid aan cyanobacteriën. Op grond van hoge dichtheden en het gevaar voor de volksgezondheid worden tijdens de zomermaanden dan ook jaarlijks diverse recreatieplassen voor het publiek gesloten. Uiteraard is het voorkomen van toxines in drinkwater niet gewenst, hetgeen dan ook regelmatig wordt onderzocht.

Box 2 Cyanobacteriën in het Volkerak-Zoommeer

Het Volkerak-Zoommeer ligt in drie provincies, n.l. Zuid-Holland, Noord-Brabant en Zeeland. Het Volkerak-Zoommeer ontstond in 1987 door de aanleg van de Philipsdam en de Oesterdam. Door deze afsluiting ontstond een zoetwatersysteem dat wordt gebruikt voor scheepvaart, recreatie en zoetwatervoorziening voor de landbouw. Het Volkerak-Zoommeer is met een oppervlak van 6450 hectare, na het IJsselmeer en het Markermeer, het derde zoetwatermeer van Nederland.



Problemen met cyanobacteriën

Voorgeschiedenis

Van oorsprong was het Krammer-Volkerak een open overgangsgebied tussen rivier en zee. Na de voltooiing van de deltawerken werd het een zoet meer met een vrijwel constant peil. Sinds 1994 groeien er in de zomer zoveel blauwalgen dat ze schadelijk zijn voor mens en milieu.

Oorzaak

De aanvoer van meststoffen vanuit de Brabantse rivieren en het Hollandsch Diep – in combinatie met de geringe doorstroming van water – leidt tot explosieve groei van de blauwalgen.

Blauwalgen overlast

De blauwalg die in het Volkerak-Zoommeer voor overlast zorgt, heet *Microcystis*. Deze blauwalg groeit in kolonies die omgeven worden door een slijm laag. Sommige *Microcystis*-soorten, zoals die in het Volkerak-Zoommeer, maken gifstoffen aan.

De bekendste gifstoffen zijn microcystines, die vooral schadelijk zijn voor de lever. Deze gifstoffen kunnen vogel- en vissterfte veroorzaken en ernstige gezondheidsklachten bij de mens.

Als er veel blauwalgen zijn, betekent dit dus ook veel gif. Op dat moment is zwemmen in het Volkerak-Zoommeer gevaarlijk – en dus verboden. Ook de landbouw kan het giftige water niet gebruiken. Het afsterven van blauwalgen in de (na)zomer geeft bovendien enorme stankoverlast. Dieptepunt was de zomer van 2002 toen ongeveer 5000 watervogels stierven.

Slechte waterkwaliteit

Behalve blauwalgenoverlast, zorgen de stoffen die de rivieren aanvoeren voor een slechte waterkwaliteit in het Volkerak-Zoommeer. Hierdoor voldoet de waterkwaliteit niet aan de eisen volgens de geldende Europese richtlijnen.

Oplossing blauwalgproblematiek Volkerak-Zoommeer in zicht

Op basis van de studieresultaten naar de overdadige groei van blauwalgen in het Volkerak-Zoommeer concluderen overheidsbestuurders uit de regio dat de meest gewenste toekomst voor het meer zout is met een beperkt getij. Tegelijkertijd signaleren zij dat verzilting de zoetwatervoorziening in de omgeving bemoeilijkt. Deze problemen vragen om een oplossing voordat het zout kan worden toegelaten.

Het onderzoek is nu afgerond. Het probleem van de blauwalgen blijkt alleen oplosbaar door het meer te verzilten en een getij van minstens 30 centimeter toe te staan. Zoet houden is geen alternatief. Verzilting biedt kansen voor recreatie, schelpdierteelt en andere economische activiteiten. Onder invloed van de verzilting verandert wel de zoetwatersituatie in de streek en dreigen verschillende gebruiksfuncties beperkt te worden. De realisatie van deze oplossing zal naar verwachting enkele tientallen miljoenen euro's gaan kosten.

Het Bestuurlijk Overleg Krammer Volkerak is van plan het ministerie van Verkeer en Waterstaat te adviseren het Volkerak-Zoommeer te verzilten. De uitvoering mag echter niet starten voordat een oplossing is uitgewerkt voor de zoetwaterproblematiek. De oplossing voor het ene probleem mag geen nieuw probleem veroorzaken. Aangezien de invloed van het zout zich uitstrekt over het hele Deltagebied, adviseert het BOKV de uitwerking van de zoetwateroplossing in een breder kader te bekijken dan alleen voor het Volkerak-Zoommeer. Het ingewikkeldste probleem doet zich voor in het gebied van de Benedenrivieren. Daarom start op zeer korte termijn een intensief traject om de optimale zoetwatervoorziening voor dat gebied in kaart te brengen.

Bron: www.volkerakzoommeer.nl

Onderzoek naar de hoeveelheid toxines in oppervlaktewater is echter relatief tijdrovend en kostbaar. Daarnaast is de hoeveelheid toxines per cel (of andere biovolume eenheid) sterk variabel (Hoogenboezem *et al.*, 2000; Kardinaal & Visser, 2005). Daarom wordt in plaats daarvan meestal de biomassa cyanobacteriën in de gaten gehouden. De biomassa cyanobacteriën is een maat voor de hoeveelheid toxines, die door deze algen geproduceerd kan worden.

In de Biesboschspaarbekkens is het voorkomen van toxines meerdere malen onderzocht. Onderzoek uit 1998 en 2000 wees uit dat de populaties cyanobacteriën worden gedomineerd door de soort *Microcystis aeruginosa*. Deze soort produceert de toxine microcystine. Uit het onderzoek kwam ook naar voren dat de hoeveelheid toxine per cel sterk kan variëren (Wagenvoort *et al.*, 2000; Hoogenboezem *et al.*, 2004). In 1998 bedroeg het maximale gehalte 7,12 µg microcystine per mm³ cyanobacteriën, hetgeen overeen komt met 0,468 pg microcystine per *Microcystis*-cel. Het gemiddelde gehalte bedroeg 0,212 pg microcystine per cel (Wagenvoort *et al.*, 2000). In 2000 waren de cellen in spaarbekken De Gijster minder toxisch (Hoogenboezem *et al.*, 2004).

Voor drinkwater is door de WHO (Falconer *et al.*, 1999) een norm voor toxines voorgesteld: 1 µg toxine/l drinkwater. Voor het berekenen van veiligheidsniveaus werd door Falconer *et al.* (1999) uitgegaan van een gemiddeld toxinegehalte van 0,2 pg per blauwalgcel ofwel 3 µg microcystine per mm³ cyanobacteriën. Dit komt goed overeen met de toxinegehalten per cel in De Gijster. Nu bekend is hoeveel toxines voorkomen per eenheid cyanobacteriën, kan de maximaal toelaatbare biomassa cyanobacteriën per liter berekend worden: 0,33 mm³ cyanobacteriën/l.

De hoeveelheid cyanobacteriën wordt in de Biesboschspaarbekkens wekelijks gemeten. Bij overschrijding van deze waarde (0,33 mm³ cyanobacteriën/l) wordt de luchtinjectie aangezet, en worden de afnemende productielocaties gewaarschuwd dat er cyanobacteriën in het voorgezuiverde Biesboschwatar (Afgeleverd Water) aanwezig zijn.

De grootste kans op te hoge concentraties cyanobacteriën en toxines in het “ruwe” water is bij het ontstaan van drijfslagen. Bij de vorming van drijfslagen hopen cyanobacterietoxines zich sterk op: de concentratie toxines in drijfslagen kan een factor 1000 hoger zijn dan in de rest van het water (Falconer *et al.*, 1999). Echter, de kans dat een drijfslaag uiteindelijk naar de zuiveringslocaties wordt gepompt is zeer gering omdat drijfslagen zich aan het oppervlak bevinden, en het “ruwe” water enige meters onder het wateroppervlak wordt onttrokken.

In de laatste 15 jaar bereikten cyanobacteriën in het “ruwe” water (dus voor zuivering tot drinkwater) frequent een biomassa hoger dan 1,2 mm³/l. De hoogst gemeten biomassa bedroeg in deze periode ruim 7,2 mm³/l. Voor dit ruwe water kan worden gesteld dat de drinkwaternorm voor toxines regelmatig wordt overschreden, want deze waarden komen overeen met een toxinegehalte van 3,6 µg/l, met een maximum van 21,7 µg/l (Tabel 3.3). Bovendien geldt ook hier de toekomstverwachting met betrekking tot de groei van cyanobacteriën en het vaker optreden van warme en drogere zomers. Het is waarschijnlijk dat in de toekomst vaker en langduriger cyanobacteriebloei optreden (Bresser *et al.*, 2005). Dit betekent dat de kans op situaties zoals in 1995, met hoge biomassa's algen en toxines in het “ruwe” water, toeneemt. Dat in 2007 opnieuw een zeer hoge cyanobacteriënbioomassa in het ‘ruwe’ water optrad, ondersteunt deze veronderstelling. Daarnaast kunnen nieuwe soorten bijdragen tot hogere toxinegehalten of tot de productie van andere toxines, zoals het cytotoxine cylindrospermopsine door *Cylindrospermopsis raciborskii*. Deze soort wordt pas sinds 2001 in Nederland aangetroffen (Van den Hove, 2001). Cylindrospermopsine remt de eiwitsynthese, veroorzaakt necrose in lever, nieren, milt, longen en is genotoxisch (kan tot DNA-schade leiden (www.blauwalg.wur.nl)).

Tabel 3.3

De kentallen voor de afgeleide hoeveelheden microcystine in het "ruwe" water dat naar de productielocaties gaat (Afgeleverd Water).

periode	kental	cyanobacteriën biovolume (mm ³ /l)	microcystine (µg/l)
1987 – 2008 (gehele jaar)	mediaan	0.003	0.01
	75 ^e percentiel	0.07	0.22
	90 ^e percentiel	0.27	0.82
	maximum	7.2	21.7
1987 – 2008 (juli tot en met september)	mediaan	0.07	0.22
	75 ^e percentiel	0.23	0.68
	90 ^e percentiel	0.62	1.87
	95 ^e percentiel	1.21	3.6
	maximum	7.2	21.7
1993 - 1997 (juli tot en met september)	mediaan	0.13	0.39
	75 ^e percentiel	0.28	0.84
	90 ^e percentiel ¹	0.74	2.2
	maximum	2.03	6.1
2004 – 2008 (juli tot en met september)	mediaan	0.08	0.24
	75 ^e percentiel	0.24	0.72
	90 ^e percentiel ¹	1.22	3.7
	maximum	7.2	21.7

¹ bij kleine meetseries kan de hoogte van het 90^e percentiel zijn bepaald door één algenbloeï (jaar)

Tot op dit moment wordt echter verondersteld dat dit geen gevaar oplevert voor de volksgezondheid, omdat in de drinkwaterzuiveringen, mits optimaal functionerend, de toxines grotendeels worden verwijderd (Carpentier *et al.*, 1999). Ook dan zal direct gevaar voor de volksgezondheid zeer beperkt zijn, omdat de drinkwaternorm is opgesteld uitgaande van een levenslange blootstelling.

3.4 Geur- en smaakstoffen

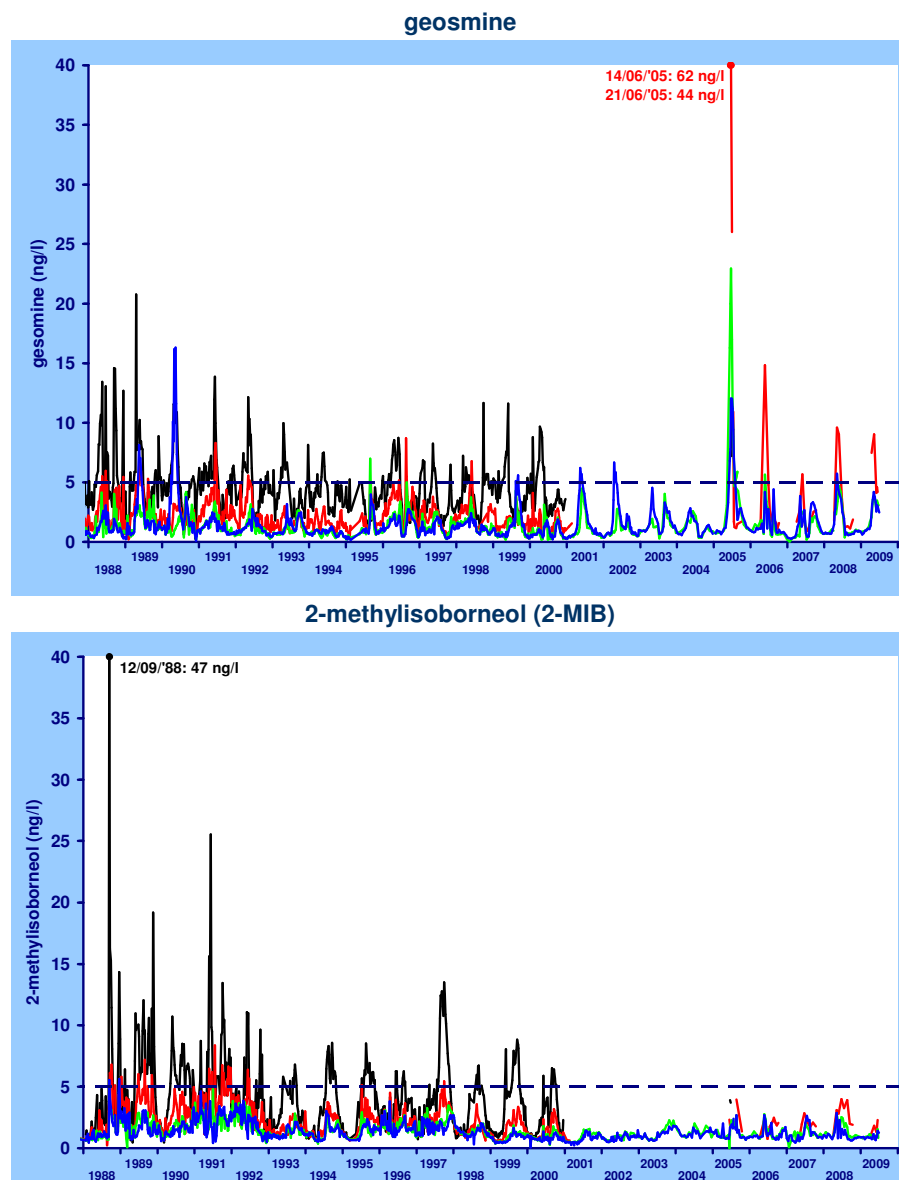
Geosmine en 2-methylisoborneol (2-MIB) zijn twee organische stoffen die het water een muff-grondige smaak kunnen geven. Omdat deze stoffen al bij zeer lage concentraties (ca. 5 ng/l) geroken kunnen worden, zijn deze stoffen ongewenst in de grondstof voor drinkwaterproductie (WBB, 1985, Young *et al.*, 1996).

Het voorkomen van een onaangename grondige geur en smaak in water is een wereldwijd probleem waar vooral drinkwaterproductiebedrijven veel hinder van kunnen ondervinden (onder andere Wood *et al.*, 1983). Eind negentiende eeuw werd al geconstateerd dat cyanobacteriën verantwoordelijk konden zijn voor een onaangename smaak en geur van het water (Farlow, 1883). Op dit moment zijn er vele myceliumvormende bodembacteriën (actinomyceten), een aantal cyanobacteriën, een Myxobacterie (*Nanocystis exedens*) en een tweetal schimmels (*Basidiobolus ranum* en *Chaetomium globosum*) bekend die in staat zijn tot de productie van geosmine en 2-MIB (Wood *et al.*, 1983). Voor de gezondheid zijn deze stoffen onschadelijk, maar voor consumenten is een onaangename geur of smaak van het water een duidelijk signaal dat het drinkwater niet in orde is. Zodra het water uit de kraan een enigszins ongewone geur of smaak bezit, is het vertrouwen in de zuiverheid van het water meteen verdwenen (Ketelaars, 1994).

In de Biesboschspaarbekkens doen zich sinds 1984 problemen voor met betrekking tot deze geur- en smaakstoffen. In 1984 bedroeg het maximale gehalte in het uitgaande water van spaarbekken Petrusplaat 33 ng/l geosmine. Uit (bodem)onderzoek kwam naar voren dat het probleem werd veroorzaakt door *benthische* (op de bodem levende) cyanobacteriën. In tegenstelling tot de Petrusplaat werd in de spaarbekkens De Gijster en Honderd en Dertig op dat moment slechts sporadisch groei van cyanobacteriën waargenomen. Dit verschil hangt samen met het al dan niet voorkomen van brasems. In De Gijster en Honderd en Dertig komen brasems voor, en in de Petrusplaat niet. Brasems woelen de bodem om, waardoor de cyanobacteriën worden onder gewoeld. Om te kunnen groeien, moeten de cyanobacteriën zich weer in het omgewoelde sediment naar boven bewegen. Dit kost de cyanobacteriën energie, waardoor de ontwikkeling van de benthische cyanobacteriën wordt geremd. Eventuele groei werd veelal uitsluitend in het voorjaar waargenomen, omdat in

deze periode de brasems paaïen en minder woelen (Carpentier, 1996). Om de ontwikkeling van de benthische cyanobacteriën in de Petrusplaat te beperken, werd een speciale beheersmethode ontwikkeld, te weten het omwoelen van de bodem met de zogenaamde Biesbosch-eg (Van Breemen *et al.*, 1991; Ketelaars & Ebbeng, 1994). Door deze methode in te zetten op de plaatsen waar SCUBA-duikers groei van cyanobacteriën hebben waargenomen zijn de gehalten aan geosmine en 2-MIB in het uitgaande water van spaarbekken Petrusplaat, ofwel het ruwe water, de laatste jaren laag: ver beneden de grens waarbij de stoffen waargenomen worden (Wagenvoort, 2005a; Figuur 3.4).

In het “ruwe” water heeft zich tot op heden nog geen probleem voorgedaan met geur- en smaakstoffen, die afkomstig waren van planktonische (vrij in het water levende) cyanobacteriën. De hoge biomassa van 1995 en 2007 in het “ruwe” water (Afgeleverd Water) kan incidenteel leiden tot een theoretisch extracellulair geosmine-gehalte van respectievelijk 2 en 7 ng/l (House *et al.*, 2004), hetgeen net op het niveau van de reukgrens ligt.



Figuur 3.4

Het gehalte aan geosmine en 2-methylisoborneol in de Biesboschspaarbekkens. — : Ingenomen water; — : Uitlaat De Gijster; — : Uitlaat Honderd en Dertig; — : Afgeleverd Water (Uitlaat Petrusplaat); - - - : grenswaarde (5 ng/l) voor melding aan afnemende productielocaties.

In de Biesboschspaarbekkens draagt 2-MIB niet bij tot de problematiek van de geur- en smaakstoffen. De gehalten van deze stof kunnen vrijwel geheel verklaard worden door de gehalten die met het water uit de Maas worden ingenomen. De productie in de

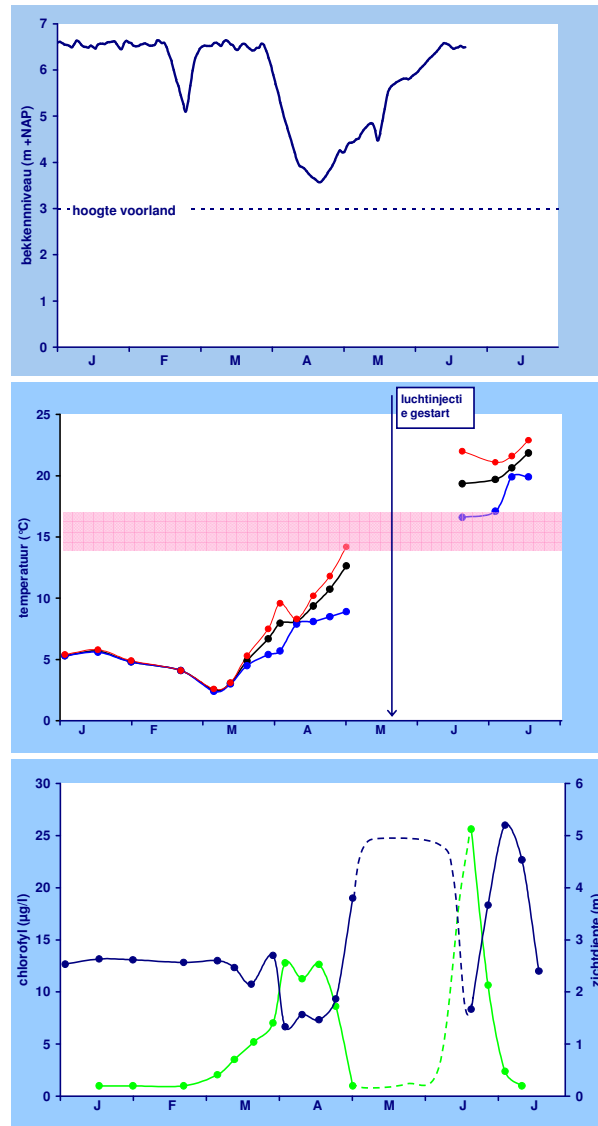
spaarbekkens is zeer gering, waardoor de 2-MIB-gehalten van het Afgeleverde Water de laatste 20 jaar altijd onder de reukgrens van 5 ng/l liggen (maximum 4,6 ng/l, Figuur 3.4).

Begin juni 2005 nam het aantal smaakklachten over het drinkwater van productiebedrijf Berenplaat sterk toe (Wagenvoort, 2005b). Bij de andere productiebedrijven trad dit niet op; waarschijnlijk omdat daar andere typen zuivering gebruikt worden (langere contacttijd van de kool). Om de waterkwaliteit te verbeteren werd in de zuivering van de Berenplaat poederkool (dosering 5 g per m³) toegepast om geur- en smaakstoffen te binden. Deze relatief dure ingreep had snel resultaat en het aantal klachten nam vervolgens af (Wessels *et al.*, 2006). Laboratoriumonderzoek wees uit dat de klachten het gevolg waren van een verhoogd geosmine-gehalte in het uitgaande water van de Biesboschspaarbekkens, en dat de bron van geosmine zich in spaarbekken De Gijster bevond (Figuur 3.4; Wagenvoort, 2005b).

In de jaren voor 2005 is in de spaarbekkens Honderd en Dertig en De Gijster in het voorjaar (van april tot juni) vaker een verhoging van de gehalten van geosmine waargenomen. De verhoging was echter nooit zo extreem als in 2005 (meer dan 60 ng/l; Figuur 3.4), maar bleef beperkt tot enkele nanogrammen. Carpentier (1996) concludeerde in haar onderzoek dat jaarlijks enige toename van benthische cyanobacteriën optreedt, waarschijnlijk als gevolg van een verminderd foerageergedrag van brasem (*Abramis brama*), omdat het voorkomen van cyanobacteriën samenvalt met de paaitijd van deze soort. Ebbeng *et al.* (2000) toonden aan dat foeragerende brasem door de bodemomwoelende activiteit inderdaad de bedekking van cyanobacteriën reduceert.

Wagenvoort (2005b) geeft aan dat de oorzaak van de problemen in 2005 het gevolg is van het met 3 m verlaagde waterniveau in verband met een reparatie aan de dijk. Deze verlaging viel samen met de helder waterfase en de paaitijd van brasem. Deze combinatie van factoren bood de benthische cyanobacteriën optimale groeiomstandigheden, waardoor een hoge bedekking van een groot areaal (het voorland) mogelijk werd en er veel geosmine kon worden geproduceerd. Nadat het bekken weer op peil kwam, de zichtdiepte afnam en de paaitijd voorbij was, stagneerde de productie van geosmine en daalde het geosmine-gehalte in het water door natuurlijke afbraak.

Figuur 3.5 geeft de relaties tussen de verlaagde bekkenstand, de algenbiomassa, de zichtdiepte en de watertemperatuur in spaarbekken De Gijster in 2005 weer. Het spaarbekken warmde door het grote volume en de grote gemiddelde diepte langzaam op. Eind april bereikte het water aan het oppervlak even kortstondig de grens van 14 °C, en in mei bedroeg de watertemperatuur over de geheel waterkolom 14 tot 17 °C, de temperatuur waarbij brasem paait (www.visenwater.nl). In het voorjaar werd een reparatie aan de dijk van spaarbekken De Gijster uitgevoerd. Om deze reparatie mogelijk te maken werd het niveau verlaagd met maximaal 3 m. In totaal was het bekkenniveau gedurende twee maanden lager dan normaal. Deze periode viel samen met de paaitijd van brasem en de helder waterfase. Deze combinatie van factoren hebben zeer waarschijnlijk de benthische cyanobacteriën optimale groeiomstandigheden geboden, waardoor een zeer hoge bedekking van een groot areaal (het zogenaamde voorland met een oppervlakte van ruim 100 ha) mogelijk werd, waardoor hoge gehalten aan geosmine konden worden geproduceerd. In juni kwam het bekken weer op peil. Op dat moment was de paaitijd van brasem afgelopen en was de algenbiomassa hoog. Zoals werd verwacht nam het geosmine-gehalte in juni en juli weer af (Figuur 3.4).

**Figuur 3.5**

De bekkenstand en het verloop van de watertemperatuur, de algenbiomassa en de zichtdiepte in spaarbekken De Gijster ten tijde van de geurproblemen in 2005.

Bovenste figuur: --- : niveau van het voorland

Middelste figuur: ● : gemiddelde watertemperatuur; ● : minimum watertemperatuur (nabij de bodem); ● : maximum watertemperatuur (aan het oppervlak); ■ : temperatuurbereik waarbij de paai van brasem plaatsvindt (www.visenwater.nl)

Onderste figuur: ● : chlorofylgehalte; ■ : geschat chlorofylgehalte op basis van historische gegevens en het verloop in spaarbekken Honderd en Dertig; ● : zichtdiepte; : geschatte zichtdiepte op basis van historische gegevens en het verloop in spaarbekken Honderd en Dertig

In de Biesboschspaarbekkens wordt door de benthische cyanobacteriën voornamelijk geosmine geproduceerd en is de productie van 2-MIB beperkt (Figuur 3.4). In de jaren na 2005 is er jaarlijks een duidelijke productie van geosmine in spaarbekken De Gijster waarneembaar. In de jaren negentig steeg het geosmine-gehalte (op monsterpunt uitlaat De Gijster) door de productie in De Gijster in 4 van de 10 jaar tot een niveau van 5 ng/l (maximaal 8,7 in 1996), terwijl dat de laatste 5 jaar altijd optrad. De toename van het gehalte aan geosmine geproduceerd in spaarbekken De Gijster was evident en droeg bij tot een hoger geosmine-gehalte in het voorgezuiverde Biesboschwatar dat naar de productiebedrijven wordt getransporteerd (Afgeleverd Water) (Tabel 3.4). In het heldere spaarbekken Petrusplaat (jaargemiddelde van de zichtdiepte bedroeg de laatste 5 jaar 6,1 m) ontwikkelden zich frequent benthische geosmine-producerende cyanobacteriën. De ontwikkeling wordt geremd door de bodem kunstmatig om te woelen. De inzet van dit beheer (locatie, diepte en frequentie) wordt uitgevoerd na inspectie van SCUBA-duikers. Aan de hand van de inventarisatie van deze SCUBA-duikers (zeer beperkte groei in

spaarbekken Petrusplaat) kon worden vastgesteld dat de verhoogde gehalten in het voorgezuiverde Biesboschwater in 2005, 2006 en 2009 werden veroorzaakt door geosmine dat was geproduceerd in spaarbekken De Gijster. De geosmine-vracht werd met het water dat vanuit De Gijster was doorgezet, uiteindelijk naar spaarbekken Petrusplaat getransporteerd. Hierdoor zijn de gehalten in het laatste spaarbekken enige tijd later verhoogd (vertraging enkele weken) en zijn de gehalten door verdunning (afvlakking van piekconcentraties) verlaagd.

In 2007 en 2008 waren de verhoogde gehalten van geosmine in het voorgezuiverde Biesboschwater het gevolg van geosmine-productie in de spaarbekkens De Gijster EN Petrusplaat. De productie in spaarbekken Honderd en Dertig was altijd gering.

Tabel 3.4

Vergelijking van het geosmine- en 2-MIB-gehalte (maanden mei en juni) in spaarbekken De Gijster (gemeten op monsterpunt Uitlaat De Gijster) en het ruwe water dat naar de productielocaties gaat (Afgeleverd Water).

geur en smaakstoffen	gemiddelde in:		t-waarde	toetsing df	p-waarde	conclusie
	1993 t/m 1997	2005 t/m 2009				
Productie in spaarbekken De Gijster (gemeten op monsterpunt Uitlaat De Gijster)						
geosmine-gehalte (µg/l)	2.6	9.0	-2.50	20	< 0.01	sterke toename (250%)
2-MIB-gehalte (µg/l)	1.7	2.1	-1.42	21	> 0.05	geen verschil
Afgeleverd Water Biesboschspaarbekkens						
geosmine-gehalte (µg/l)	1.4	3.9	-4.84	28	< 0.001	sterke toename (180%)
2-MIB-gehalte (µg/l)	1.1	1.2	-0.840	50	> 0.2	geen verschil

Spaarbekken De Gijster is onder meer aangelegd om een selectief innamebeleid mogelijk te maken, zodat de inname van Maaswater gestaakt kan worden bij een lage afvoer van de rivier, bij calamiteiten op de rivier of bij een ongewenste waterkwaliteit, zonder dat de levering van ruw water in het geding komt. Bij iedere innamestop daalt het bekkenniveau van spaarbekken De Gijster met circa 18,3 cm per dag (Figuur 3.5) en is er mede door de aanwezigheid van het voorland kans op herhaling van het geurprobleem. De verwachting is dat dit in de toekomst, met een grotere kans op lage afvoeren als gevolg van klimaatverandering, vaker kan optreden. Ondanks dat dit geen risico's oplevert voor de gezondheid, zal dit vanwege het belang van het consumentenvertrouwen tegengegaan moeten worden.

3.5 “Alternatieve” bestrijdingsmethoden

Naar aanleiding van de problemen heeft N.V. WBB in 1996 een onderzoek laten uitvoeren naar de bestrijding van planktonisch cyanobacteriën in de Biesboschspaarbekkens (Ibelings, 1996). Hieruit kwam naar voren dat ontwikkeling van de cyanobacteriën kon worden gereduceerd door het beluchttingsregime te optimaliseren en het voorland af te graven om de menging verder te kunnen verbeteren. Bij de inventarisatie werden andere methoden als niet toepasbaar gekwalificeerd, omdat de betreffende technieken nog niet op grote schaal succesvol was toegepast, het resultaat onzeker was of qua kosten of uitvoering niet haalbaar was. In het recenter onderzoek van Wessels *et al.* (2006) kwam het afgraven van het voorland eveneens als beste methode, om de ontwikkeling van planktonische cyanobacteriën verder te beperken, naar voren. Daarnaast trad een aanvullend probleem met benthische cyanobacteriën op. Een dieper spaarbekken heeft als voordeel dat ook de ontwikkeling van deze benthische cyanobacteriën wordt beperkt.

De bestrijding van planktonische cyanobacteriën staat nog steeds volop in de belangstelling. Door Koolmees (2007) is in opdracht van Rijkswaterstaat hiernaar een literatuurstudie uitgevoerd. Hierin worden ten opzichte van de inventarisatie van Ibelings (2006) enkele nieuwe bestrijdingsmethoden vermeld (Tabel 3.5). Deze bestrijdingsmethoden zijn onlangs nader onderzocht. In deze paragraaf worden deze resultaten besproken en wordt de toepassing van deze bestrijdingsmethoden voor het Biesboschspaarbekken De Gijster beoordeeld (Tabel 3.6).

Tabel 3.5

Recent geteste bestrijdingsmethoden tegen planktonische cyanobacteriën en hun werkingsmechanisme (naar: Koolmees, 2007)

maatregel	werkingsmechanisme	kennis	kosten	neveneffecten
P-fixatie door Phoslock™	GROEIEMMING door een verminderde beschikbaarheid van fosfaat en SYMPTOOMBESTRIJDING door vastleggen overmaat fosfaat	goed onderbouwd, echter samen met andere maatregelen	€ 0,50 per m ² en zal moeten worden herhaald als fosfaat het systeem blijft binnenkomen	ophoping van lanthanum; fosfaatlimitatie
waterstofperoxide	SYMPTOOMBESTRIJDING door directe schade van cellen door radicalen	in 2007 nog niet in het veld toegepast, in 2009 eerste veldtest	zal regelmatig moeten worden herhaald	bijproducten, effecten op biotische milieu en vrijkomen van toxines van cyanobacteriën
Scavenger®	SYMPTOOMBESTRIJDING door middel van fysieke verwijdering en ozonbehandeling	matig, geen specifieke gegevens over cyanobacteriën	gebruik vaartuig (capaciteit 36 m ³ per minuut) gedurende 3 maanden €400 000, zal ieder jaar moeten worden ingezet	zeer verstorend effect op het abiotisch en biotisch milieu door hoge turbulentie, hoge zuurstof- en ozontoevoeding
Effectieve micro-organisme™	SYMPTOOMBESTRIJDING, werking onduidelijk, verhoogde nutriëntcompetitie	Onduidelijk, alleen informatie van website van de leverancier beschikbaar	1 bal per m ² per seizoen, kosten € 1,00 per 0,5 m ³	
ultrasoon geluid	SYMPTOOMBESTRIJDING door structurele schade door radicalen, temperatuur en cavitatie	goed, veel onderzoek in laboratoria maar niet in het veld	investering € 2000 (1 transducer) per 2,5 ha. en energieverbruik 50 W per transducer	effect op het abiotisch milieu; effect op het biotisch milieu nog niet duidelijk; mogelijk toename van toxines van cyanobacteriën

Tabel 3.6

Beoordeling van de recent geteste bestrijdingsmethoden tegen planktonische cyanobacteriën voor de toepassing in spaarbekken De Gijster (referenties zie subparagrafen van paragraaf 3.5)

maatregel	werking bewezen	effect op planktonische cyanobacteriën	effect op benthische cyanobacteriën	opmerkingen / kanttekeningen
P-fixatie door Phoslock™	JA (in verschillende kleine watersystemen succesvol toegepast)	sterke reductie van cyanobacteriën en algen	door helder water neemt de kans op een toename van benthische cyanobacteriën, die geosmine kunnen produceren, sterk toe	- alleen in kleine meertjes toegepast - minder algen kan leiden tot lagere visstand - helder water kan leiden tot toename van waterplanten - bestrijding moet regelmatig worden herhaald - geschatte kosten voor De Gijster ruim € 1,5 miljoen per behandeling - ophoping van zeldzame element lanthanum, toxicologisch onzeker qua lange termijn effecten, NIET in bekkens met water voor de productie van drinkwater
waterstofperoxide	JA, recreatieplassen Borgerswold (Veendam) en Spaarnewoude (Haarlem)	95% reductie	niet gemeten, gezien hogere gevoeligheid van andere (groen)algen wellicht geen verandering van de dichtheid van de benthische cyanobacteriën	- toxines komen vrij - werking circa 10 weken - bestrijding zal regelmatig (in ieder geval jaarlijks) moeten worden herhaald - geschatte kosten voor De Gijster ruim € 0,12 miljoen per behandeling
Scavenger®	JA/NEE, verwijdering en inactivatie door ozon alleen op laboratoriumschaal bewezen	drijfslagen worden verwijderd en kleinere hoeveelheden algen geïnactiveerd	water wellicht minder troebel, mogelijk sterkere ontwikkeling	- in het geval dat er geen drijfslagen zijn, zijn de cyanobacteriën moeilijk te verzamelen - er worden ingrijpende effecten op het ecosysteem verwacht door het gebruik van ozon - kostbare bestrijding moet ieder jaar worden ingezet - geschatte kosten voor De Gijster ruim € 10 miljoen per seizoen
Effectieve Micro-organisme™	NEE, mogelijk zelfs averechts effect	geen of toename	niet beoordeeld	- mogelijk door inbrengen van nutriënten zelfs een toename van algen - geschatte kosten voor De Gijster ruim € 80 miljoen per seizoen
ultrasoon geluid	NEE, mogelijk zelfs averechts effect	geen of toename	niet beoordeeld	- effect op zoöplankton aangetoond, waardoor algenbiomassa toenam

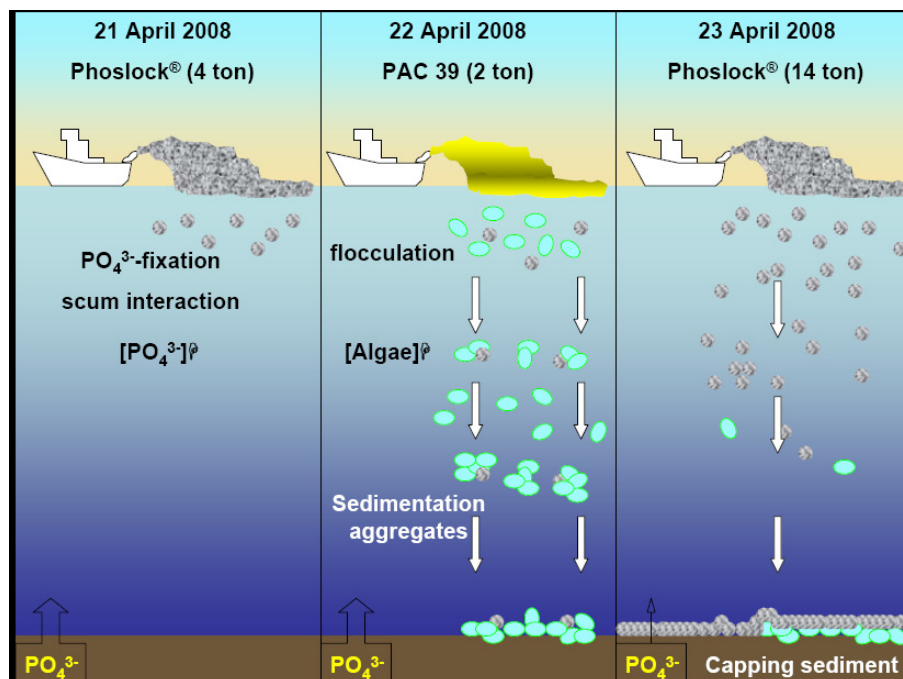
Bij symptoomgerichte maatregelen dient een kanttekening te worden geplaatst. In een gezonde cyanobacteriepopulatie blijft meer dan 90% van de toxines in de cel (diverse auteurs in: Sivonen & Jones, 1999). Een hoge dichtheid toxische cyanobacteriën betekent daarom niet vanzelfsprekend een hoge concentratie opgeloste toxinen in het water zelf. Een aantal van de hierboven beschreven maatregelen is er op gericht om de cyanobacteriecel te vernietigen, mogelijk met gevolg dat de in de cellen opgeslagen toxines vrijkomen in het water.

De biologische rol van toxines van cyanobacteriën, zoals microcystine, is nog steeds onduidelijk. Hoewel eerder gedacht werd aan een antiviraalfunctie, wijst nieuw onderzoek in de richting van cel tot cel communicatie (Schatz *et al.*, 2007). Dit betekent dat toxines van cyanobacteriën van kapotte cellen door levende cellen waargenomen wordt. Recent onderzoek heeft nu gesuggereerd dat als gevolg daarvan de levende cellen hun interne toxines van cyanobacteriën concentratie verhogen. Per cel ontstaat er dus meer toxine. In totaal betekent dit, dat een hele cyanobacteriepopulatie meer toxisch kan worden (Schatz *et al.*, 2007). Wanneer cyanobacteriën met effectgerichte maatregelen worden bestreden is de kans op een verhoogde concentratie extracellulaire toxinen een reële zorg.

3.5.1 Fixatie van fosfor door Phoslock™ (Flock en Lock-methode)

De werking van Phoslock is er (evenals bij de toepassing van ijzerzouten) op gericht om fosfaten aan het water te onttrekken en daarmee de groei van de cyanobacteriën kunnen beperken. Het fosfaat wordt gebonden en komt niet meer in oplossing. Diverse studies tonen aan dat Phoslock inderdaad de fosfaat concentratie aanzienlijk verlaagd en groei van cyanobacteriën gereduceerd wordt (Koolmees, 2007).

Ook uit studies van de Universiteit van Wageningen blijkt dat het toevoegen van Phoslock de groei van cyanobacteriën ten opzichte van groenalgen reduceert (Tolman, 2007).



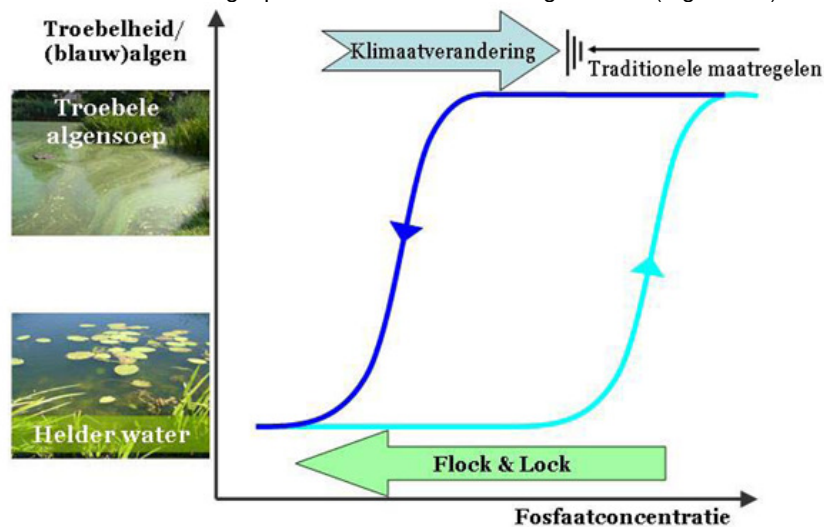
Figuur 3.6

Schematische weergave van de behandeling in De Rauwbraken met als doel overmatige blauwalgenbloei uit te bannen (uit: Lurling & Van Oosterhout, 2009).

In april 2008 werd het strandbad De Rauwbraken behandeld met een vlokmiddel (PAC, PolyAluminiumChloride) en een gemodificeerde klei (Phoslock) om een einde te maken aan de toenemende blauwalgenoverlast. Het principe achter de Flock & Lock methode is dat alle in het water aanwezige fosfaat (zowel opgelost als in particuliere vorm) in de gevormde vlokken naar de waterbodem bezinken, waarna een fosfaatfixatief (Phoslock) zorgt voor

verwijdering van opgelost fosfaat uit de waterkolom, een dun laagje als afdekking van de onderwaterbodem vormt en hier het bij afbraak van neergeslagen organisch materiaal vrijkomende fosfaat wegvangt (Figuur 3.6). Daar waar er op 20 april nog een dikke drijflaag van *Aphanizomenon* werd aangetroffen, bleek de behandeling deze rap te doen afzinken naar diepere waterlagen. Het vlokmiddel maakte het water zeer helder, waarna toediening van de klei resulteerde in een blauw “gletsjermeer”. Geleidelijk zakte de klei uit de waterkolom en werd De Rauwbraken kraakhelder met als hoogtepunt bodemzicht (10,2 m). Lurling & Van Oosterhout (2009) hebben in 2008 de verdere ontwikkeling van het badstrand De Rauwbraken gemonitord en de conclusies van deze monitoring zijn:

- De behandeling heeft in 2008 effectief blauwalgenbloei voorkomen;
- De fosfaat- en algenconcentraties werden sterk gereduceerd door de behandeling, de troebelheid nam sterk af, het water werd kraakhelder, waterplanten groeiden tot ruim 9 m diepte en de diepere waterlagen waren voor het eerst sinds tijden niet zuurstofloos;
- Er kan voor 2008 gesproken worden van een regime-shift (Figuur 3.7)



Figuur 3.7

Hoge fosfaatconcentraties resulteren in een groene algensoep, lage fosfaatconcentraties zijn bevorderlijk voor helder water met ondergedoken waterplanten. Daar waar traditionele maatregelen om tot sterke reductie van fosfaatconcentraties te geraken worden tegengewerkt door allerlei veranderingen, lijkt Flock & Lock De Rauwbraken naar een heldere toestand te hebben gebracht (uit: Lurling & Van Oosterhout, 2009).

- De Phoslock is niet voornamelijk in het diepe deel van de plas geaccumuleerd, om het sediment af te dekken, maar ligt vooral in het zuidelijk deel van de plas;
- Abundante vegetatie, de samenstelling en aanwezigheid van macrofauna, zooplankton, amfibieën en vissen duiden op een vitaal systeem. Wel is er een behandelingsgerelateerde sterfte van baars geconstateerd;
- Het zoöplankton werd eveneens door de behandeling beïnvloed. Van enkele dagen voor de applicatie tot een week na de applicatie werd in de bovenste waterlagen *Daphnia galeata* aangetroffen (1 – 19 per l). Hierna waren de *Daphnia* enige maanden verdwenen om in oktober, met name in de diepere waterlagen, terug te keren in dichtheden tussen de 5 en 28 per l. Copepoden en andere watervlooien (*Ceriodaphnia reticulata* en *Bosmina longirostris*) keerden eerder terug;
- De behandeling resulteerde in een kortstondige, risicoloze overschrijding van de aluminium- en lanthaannorm;
- Strandbad De Rauwbraken kon na een week haar deuren openen voor recreanten. Dit was zonder behandeling vanwege de al aanwezige blauwalgenbloei niet mogelijk geweest;
- De Flock & Lock behandeling kan voor 2008 als zeer succesvol worden gezien;
- Om een goed oordeel over deze methode te kunnen vormen, zullen de gevolgen voor de chemische en ecologisch waterkwaliteit over meerdere jaren beschouwd moeten worden.

Voor spaarbekken De Gijster kan deze bestrijdingsmethode voor planktonische cyanobacteriën geen uitkomst bieden. De methode met Phoslock (of Flock en Lock) leidt voor spaarbekken De Gijster tot een aantal andere problemen:

- Het water wordt helder, waardoor benthische cyanobacteriën een grotere kans krijgen om zich te ontwikkelen. Hierdoor kunnen geosmine-producerende cyanobacteriën zich op het ondiepe voorland ontwikkelen, waardoor de waterkwaliteitsproblemen van 2005 zich opnieuw kunnen voordoen;
- Het water wordt helder, waardoor waterplanten een grotere kans hebben zich te vestigen en een hoge biomassa bereiken. Mogelijk dat losse plantendelen waterkwaliteitsproblemen geven of dat grotere delen het transport van water naar het volgende spaarbekken Honderd en Dertig verstoren, doordat de stroomgeleiders verstopt raken. In 2007 heeft een hoge biomassa in de Biesbosch geleid tot verstopping van de grofvuilroosters van het innamewerk (Wagenvoort, 2008);
- De ervaring bij het reservoir de Afgedamde Maas heeft geleerd dat defosfatering van water niet kan verhinderen dat regelmatig een bloei van *Microcystis* optreedt (Ibelings, 1996). Aangezien het ingelaten water nog steeds een aanzienlijke hoeveelheid fosfaat bevat (gemiddelde van de Maas te Keizersveer over de laatste 5 jaar bedroeg ruim 0,22 mg P/l) en de morfologie nog steeds een snelle en vroege ontwikkeling van *Microcystis* mogelijk maakt, zal de bestrijdingsmethode met Phoslock regelmatig moeten worden herhaald. Dit brengt terugkerende kosten met zich mee.
- De toxicologische risico's van lanthaan zijn nog onvoldoende bekend. Bij een eerste experiment was de concentratie aan lanthaan direct na de behandeling met Phoslock zeer sterk toegenomen (meer dan 900 µg/l bij een achtergrondniveau van 0,014 µg/l) en bleef het gehalte langdurig aanzienlijk verhoogd (meer dan 100 dagen boven de MTR-waarde van 10 µg/l, Lurling & Van Oosterhout (2009).
- Het gebruik van een flocculatiemiddel met aluminium leidt tot een overschrijding van de aluminiumnorm voor drinkwater (30 µg/l). Bij een eerste experiment leidde de behandeling met PAC tot een sterke verhoging met meer dan 2000 µg (totaal) aluminium per l en bleef het gehalte aan opgelost aluminium gedurende drie maanden boven de norm voor drinkwater (Lurling & Van Oosterhout, 2009).

3.5.2 Effectieve micro-organisme™

De werking van Effectieve Micro-organisme (EM) is in eerste instantie gericht op de concurrentie van de EM bacteriën ten opzichte van de cyanobacteriën. EM kan in suspensie toegediend worden of in zogenaamde modderballen. Tot dusver zijn de bewijzen over de werking en effectiviteit van de maatregel onzeker en moeilijk te achterhalen (Koolmees, 2007). Recent onderzoek van de Universiteit van Wageningen heeft aangetoond dat de effectiviteit beperkt is, sterker nog, de EM-modderballen zouden de groei van cyanobacteriën kunnen versterken omdat er met de ballen extra nutriënten aan het water toegevoegd worden (Lurling *et al.*, 2007). Het doel van het uitgevoerde onderzoek was om helder te krijgen of de EM-technologie, in de vorm van EM-modderballen, sterke groei van blauwalgen kan voorkomen en een bestaande blauwalgenbloei kan verminderen zonder daarbij nadelige effecten te hebben op dierlijk plankton en andere waterkwaliteitsvariabelen. De belangrijkste conclusies uit het onderzoek van Lurling *et al.* (2007) zijn:

- Er is geen aanwijzing gevonden waaruit blijkt dat met EM-modderballen in de voorgenomen dosering een proliferatie van blauwalgen voorkómen kan worden;
 - Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat een EM-suspensie in de geadviseerde dosering het ontstaan van een blauwalgenbloei kan verhinderen;
 - Er is geen aanwijzing gevonden waaruit blijkt dat EM-modderballen in de voorgenomen dosering een bestaande blauwalgenbloei effectief kunnen bestrijden;
 - Er is geen indicatie gevonden voor het veronderstelde werkingsmechanisme van de EM-technologie;
-

- Er is geen direct nadelig effect van EM-modderballen en EM-suspensie bij de geadviseerde dosering op de groei van rotiferen (*Brachionus calyciflorus*) te verwachten. Bij de geadviseerde dosering van EM-modderballen is er geen aanleiding een nadelig effect op de watervlo *Daphnia galeata* te verwachten;
- Decompositie van EM-modderballen leidt tot lagere zuurstofconcentraties en het vrijkomen van nutriënten;
- EM-technologie is geen natuurlijke methode om eutrofiering te bestrijden;
- Positieve claims betreffende EM-technologie zijn voor het overgrote deel onbetrouwbaar en niet wetenschappelijk onderbouwd.

Deze methode is dus ongeschikt.

3.5.3 Scavenger®

Het principe van de Scavenger is naast de verwijdering van drijflagen vooral gericht op het gebruik van ozon. De effectiviteit van ozon hangt af van contacttijd en concentratie. De effectiviteit van ozon wordt sterk bepaald door de aanwezigheid van (natuurlijke) organische verbindingen. Omdat er slechts enkele labexperimenten naar het effect van ozonbeluchting op *Aphanizomenon*, *Microcystis* en *Synechocystis* (monoculturen en water uit veld) zijn uitgevoerd, kan nog niet voldoende worden bepaald wanneer, waar en óf deze maatregel in het veld bruikbaar en effectief is (Koolmees, 2007). Het is sowieso noodzakelijk dat de cyanobacteriën in een drijf laag aanwezig zijn om ze effectief te kunnen verwijderen. Dit is heel vaak niet het geval. Zeker niet bij de geëxponeerde ligging van spaarbekken De Gijster. Ozon leidt tot bromaatvorming, hetgeen ongewenst is in het water dat wordt gebruikt als bron voor de productie van drinkwater..

Het gebruik van de Scavenger vraagt hoge investeringen, en is mede daardoor geen alternatief voor toepassing op grote schaal in het veld. In Nederland is dit apparaat nog niet uitgetest.

3.5.4 Waterstofperoxide

Uit laboratoriumonderzoek door het Instituut voor Biodiversiteit en Ecosysteem Dynamica (IBED) aan de Universiteit van Amsterdam (UvA) bleek dat blauwalgen veel gevoeliger voor waterstofperoxide zijn dan andere (niet giftige) algen. De concentratie waterstofperoxide is laag en wordt ook in aquaria toegepast. Daarom zijn er geen gevolgen voor de vissen in het water. De stof is binnen een paar dagen afgebroken tot water en zuurstof. Er blijft dus niks achter in het milieu. Op deze technologie is inmiddels octrooi aangevraagd.



Figuur 3.8

Met een speciaal geconstrueerde boot werd waterstofperoxide aan het water toegevoegd.

In juli 2009 hebben de onderzoekers met een nieuwe methode met waterstofperoxide blauwalgen in recreatieplas Borgerswold in de gemeente Veendam weten aan te pakken.

Op een speciaal geconstrueerde boot is een stellage gebouwd (Figuur 3.8). Via slangen en buizen die tot op de bodem van de plas reiken, is de stof aan het water toegevoegd. Ongeveer 95 procent van het aantal blauwalgen is nu verdwenen (van 680.000 algen per ml naar 38.000 per ml). Hierdoor kon het zwemverbod voor de recreatieplas worden opgeheven. Het bestrijden van blauwalg is op deze manier niet eerder vertoond. Half augustus werd een tweede recreatieplas bij Haarlem op dezelfde wijze succesvol behandeld (<http://www.uva.nl/actueel/index.cfm/A6E5C30D-1321-B0BE-A4EE246BF54BDF2B> en mondelinge mededeling Hans Ouderink, Arcadis, 27 september 2009).

Volgens Hans Matthijs (UvA) en Hans Ouderink (Arcadis) zijn de resultaten veelbelovend. “Het betekent een mogelijke oplossing voor veel andere meren met blauwalgproblemen.”

Deze methode is gericht op symptoombestrijding en zal regelmatig moeten worden herhaald hetgeen terugkerende kosten met zich meebrengen. Uit de eerste experimenten in Veenendam en Haarlem is gebleken dat de biomassa aan cyanobacteriën gedurende 10 weken laag bleef, waardoor het niet nodig was om in deze recreatieplassen gedurende het zwemseizoen de behandeling te herhalen (mondelinge mededeling Hans Ouderink, Arcadis, 27 september 2009).

3.5.5 Ultrasoongeluid

Er is nog onvoldoende bekend om ultrasoon geluid veilig en met voorspelbaar resultaat in het veld in te zetten. Met name de effecten op vissen, invertebraten of andere planktonsoorten zijn vrijwel niet beschreven. Ook zijn er meer gegevens nodig over de effecten op anderen cyanobacteriën dan *Microcystis* spp. Hoge frequentie (1,7 MHz) met een lage intensiteit (maximaal 50 W) en een intermitterende toediening lijkt in het laboratorium tot het gewenste resultaat te leiden. Daarbij is de intensiteit de meest omstreden parameter. Het ultrasone geluid zou idealiter op de soortafhankelijke migratiediepte moeten worden toegepast en op het moment van celdeling, omdat de groei op dat moment waarschijnlijk efficiënter wordt geremd (Ahn *et al.*, 2003 in: Koolmees, 2007). Vanwege het feit dat cyanobacteriën hun vacuolen snel kunnen regenereren bij voldoende licht en zuurstof is deze maatregel in diepe (onbeluchte) meren hoogstwaarschijnlijk effectiever (Ahn *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2000 beide in: Koolmees, 2007).

De afgelopen jaren is de bestrijding van blauwalgen door middel van ultrageluid door leveranciers intensief gepromoot. Echter ondanks alle anekdotes over een succesvolle bestrijding, laten gecontroleerde experimenten een heel ander beeld zien. Ultrageluid doodt (blauw)algen niet. Daarentegen worden watervlooien wel snel geëlimineerd met als gevolg dat ultrageluid een averechts effect kan hebben. Bestrijding van de blauwalgenoverlast door middel van ultrageluid lijkt daarmee een dood spoor.

Door aanbieders van ultrageluidapparatuur wordt beweerd dat helder water verkregen kan worden doordat de (blauw)algen zullen worden gedood door het in trilling brengen van de “vacuole”, terwijl andere organismen geen hinder of schade zullen ondervinden. In een onderzoek uitgevoerd door de Universiteit van Wageningen zijn deze claims nader onderzocht

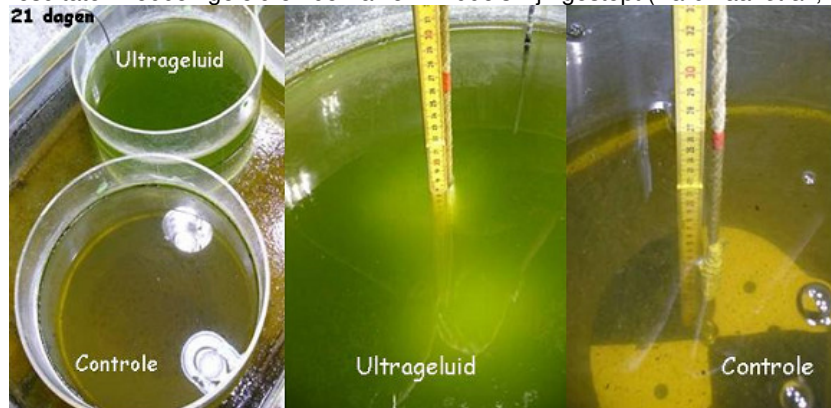
(<http://www.blauwalg.wur.nl/NL/Toegepast+Onderzoek/Ultrageluid/>; http://www.waterforum.net/index.asp?url=/template_a1.asp&que=paginanr=5682 en <http://www.waternetwerk.nl/downloads/news/1ctqsD9iD0nTxqbZ.pdf>). De conclusies van het onderzoek zijn:

- Bij een relatief hoge blootstelling werd geen sterfte van de fytoplanktoncellen waargenomen, maar trad er zelfs groei op. De cyanobacteriën bleken nog steeds in staat aan het wateroppervlak te accumuleren. Dit is een sterke indicatie dat in grotere systemen, zoals buitenwater, ultrageluidapparatuur weinig effectief zal blijken, want de geluidsgolf zal met een grotere afstand tot de bron alleen maar verder uitdoven.
- Een experiment met in het laboratorium samengestelde planktongemeenschappen, liet overduidelijk zien dat controles helder werden, terwijl de ultrageluidbehandelde bakken veranderden in een groene soep. Ultrageluid uit de gebruikte transducers (AL-05) doodt

het fytoplankton niet, maar heeft wel een zeer nadelig effect op belangrijke grazers zoals *Daphnia*. Ultrageluid kan daardoor zelfs bijdragen aan versterking van algenbloei (Figuur 3.9).

Provincie Zeeland heeft in 2007 in samenwerking met de leverancier van ultrasone apparatuur (de firma Drema uit Dordrecht) een experiment in de haven van Tholen uitgevoerd. In 2007 was het aantal drijfblazen gelijk aan het aantal drijfblazen in 2006. Aan de hand van metingen kon een effect van de transducers die het ultrasoongeluid produceren niet worden aangetoond (Wagenvoort, 2007a). Door de Provincie Zeeland worden transducers die het ultrasoongeluid produceren ingezet om aangroei van tweekleppigen in sluizencomplexen tegen te gaan (Wagenvoort, 2007b). Dit bevestigt de waarnemingen van de onderzoekers van de Universiteit van Wageningen die geen effect op algen aantoonde, maar wel ongewenste effecten op dierlijke organismen waarnamen.

Op basis van het onderzoek van de Universiteit van Wageningen lijkt de mogelijkheid om met thans verkrijgbare ultrageluidapparatuur een fytoplanktonbloei te voorkomen en/of te bestrijden nihil. Dit wordt ondersteund door de veldapplicaties in Tholen (Rijkswaterstaat), in het beheersgebied van hoogheemraadschap Rijnland (Zwaanshoek, Westeinderplas) en bij recreatieplas De Gouden Ham (Appeltern, Gelderland), die in 2007 niet tot de gewenste resultaten hebben geleid en derhalve inmiddels zijn gestopt (Kardinaal *et al.*, 2008).



Figuur 3.9

Het gebruik van transducers die ultrasoongeluid produceren leidt tot de sterfte van watervlooien hetgeen leidt tot algenbloei (<http://www.blauwalg.wur.nl/NL/Toegepast+Onderzoek/Ultrageluid/>).

3.5.6 Samenvatting bestrijdingsmethoden

Van de recent geteste en toegepaste bestrijdingsmethoden, blijken er twee methoden, Effectieve Micro-organisme en ultrasoon geluid geen effect te hebben en blijkt de algenbiomassa zelfs toe te nemen. De drie andere methoden blijken de hoeveelheid planktonische cyanobacteriën terug te brengen of de ontwikkeling te beperken. Van deze methoden is de methode met waterstofperoxide in kosten veruit het voordeligst en worden door een behandeling met Phoslock of waterstofperoxide goede resultaten in veldsituaties behaald. Deze drie methoden hebben ten opzichte van de methode waarbij door het afgraven van het voorland groeiremming van planktonische cyanobacteriën en een kleiner areaal voor benthische cyanobacteriën wordt bereikt een aantal nadelen:

- Alle bestrijdingsmethoden moeten regelmatig (soms zelfs ieder seizoen) worden herhaald, hetgeen terugkerende kosten met zich meebrengt. Het afgraven van het voorland kan waarschijnlijk kostenneutraal worden uitgevoerd en is een eenmalige activiteit;
- Alle bestrijdingsmethoden reduceren de planktonische cyanobacteriën, maar hebben geen beperkend effect op de benthische cyanobacteriën. De kans op een sterke toename van geosmine-producerende benthische cyanobacteriën neemt wellicht zelfs duidelijk toe;
- Na een behandeling met Phoslock wordt het water helder, waardoor de kansen voor waterplanten toenemen. Als het relatief grote voorland bedekt raakt door een hoge biomassa aan waterplanten kan dit leiden tot nieuwe problemen. Bij het afgraven van het

voorland zal dit zich niet voordoen, omdat het water dan te diep is. De laatste jaren wordt het ingenomen water steeds minder troebel en neemt de hoeveelheid voedingsstoffen (N en P) af (Wagenvoort, 2008; Tabel 3.1). Dit zal op termijn, ook zonder de toepassing van een bestrijdingsmethode, leiden tot een ontwikkeling van waterplanten. Door het voorland af te graven zal het areaal, dat door waterplanten kan worden bedekt, beperkt zijn en blijft de schaal van eventuele nieuwe problemen beperkt. De waargenomen afname van de hoeveelheid voedingsstoffen heeft de laatste jaren nog niet geleid tot een reductie van de planktonische cyanobacteriën (Tabel 3.2).

Geconcludeerd kan worden dat het afgraven van het voorland de beste, de meest duurzame en de meest voordelige bestrijding is. Deze methode pakt beide problemen aan en zal eventuele nieuwe problemen met waterplanten tegen gaan.

4 Conclusies

Er zijn drie typen problemen met cyanobacteriën, die allemaal worden gestimuleerd door het aanwezige ondiepe voorland in De Gijster:

1. Sommige soorten cyanobacteriën produceren toxines (gifstoffen), die gevaarlijk kunnen zijn voor de mens. Door de aanwezigheid van het ondiepe voorland in De Gijster zijn de condities geschikt voor het ontstaan van cyanobacteriebloeien. In De Gijster en het voorgezuiverde Biesboschwater dat naar de productielocaties wordt getransporteerd komen soms concentraties voor, die de drinkwaternorm overschrijden. Aangezien in de toekomst mogelijk vaker en langduriger cyanobacteriebloeien optreden, zal de kans op het ontstaan van overschrijdingen van de drinkwaternorm alleen maar toenemen.
2. Een tweede probleem vormen de fysieke effecten van cyanobacteriën. Bij een sterke toename van algen in het water, zoals bij algenbloeien, kunnen er problemen ontstaan in het zuiveringsproces op de productielocaties door het verstopt raken van de microzeven. Door de aanwezigheid van het ondiepe voorland in De Gijster zijn de condities geschikt voor het ontstaan van cyanobacteriebloeien. Deze bloeien vormen een grote ent voor de ontwikkeling van cyanobacteriën in de volgende twee bekkens in datzelfde jaar en het daarop volgende jaar. Daarnaast zal een deel van de bloeien door het transport van het ene naar het andere spaarbekken in enige mate bijdragen aan de biomassa in de laatste spaarbekkens. Aangezien in de toekomst mogelijk vaker cyanobacteriebloeien optreden, neemt de kans op het dichtslaan van microzeven ook toe.
3. Een derde probleem is de productie van geur- en smaakstoffen door bodembewonende cyanobacteriën. Deze geur- en smaakstoffen zijn ongevaarlijk voor de mens, maar ze geven het water al bij zeer lage concentraties een muffe smaak. Deze stoffen, maar voornamelijk geosmine, worden in bepaalde perioden geproduceerd, en dit is over het algemeen in de zuivering met inzet van extra middelen (en kosten) weer te verwijderen. Door de aanwezigheid van het ondiepe voorland in De Gijster is er bij lage waterstanden een grote kans op de ontwikkeling van de bodembewonende cyanobacteriën, die deze stoffen produceren. Omdat lage waterstanden in de toekomst mogelijk vaker voor kunnen komen, neemt de kans op de productie van geur- en smaakstoffen dus toe.

De huidige ontwikkeling van *planktonische* en *benthische* cyanobacteriën is respectievelijk vergelijkbaar of sterker dan zo'n 15 jaar geleden, waardoor de eerder waargenomen problemen nog actueel zijn. Gezien de klimatologische vooruitzichten zullen deze problemen ook de komende decennia actueel blijven. Naast hoge biomassa's aan cyanobacteriën kunnen ook soorten uit warmere streken, zoals *Cylindrospermopsis raciborskii* dat het cytotoxine, cylindrospermopsine, kan produceren, voor (nieuwe) problemen gaan zorgen. Aangezien geconcludeerd is dat er reële kansen bestaan op problemen door hoge dichtheden cyanobacteriën, is het wenselijk om te zoeken naar oplossingen die gericht zijn op het tegengaan van cyanobacteriën. Aangezien ook duidelijk is dat het ondiepe voorland in De Gijster een belangrijke rol speelt bij het ontstaan van de problemen, is het verdiepen van dit voorland de meest efficiënte oplossing.

4.1 Voedingsstoffen

- Alhoewel de gehalten van de voedingsstoffen N (in de vorm van nitraat) en P (in de vorm van fosfaat) in de rivier de Maas de laatste 10 jaar duidelijk (in een vergelijkbaar mate, $\pm 20\%$) zijn afgenomen, zijn de hoeveelheden voedingsstoffen in de rivier de Maas ook nu nog (zeer) hoog.
- Tijdens het verblijf in de Biesboschspaarbeek (en in het laatste spaarbekken door de ontharding met calciumhydroxide) dalen de gehalten aan N en P, waarbij vooral het gehalte aan P sterk terugloopt. In de Biesboschspaarbeek is de verhouding tussen N

en P enigszins lager geworden, maar door de nog hoge nitraatgehalten zal het competitief voordeel van N-fixerende cyanobacteriën ten opzichte van andere algen nog zeer gering zijn. In het voorgezuiverde Biesboschwater is het gehalte aan totaal fosfaat de laatste 5 jaar hoger dan midden jaren negentig.

- In zowel de Maas als in de Biesboschspaarbekkens is de beschikbaarheid aan silicaat sterk toegenomen. Momenteel is silicaat altijd in voldoende mate in de Biesboschspaarbekkens aanwezig, waardoor diatomeeën zich het hele jaar kunnen blijven ontwikkelen.

4.2 Algenbiomassa en toxines

- De ontwikkeling van algen kent in de Biesbosch spaarbekkens een duidelijk seizoensgebonden verloop. In de winter is de algenbiomassa laag, in het voorjaar domineren de diatomeeën en in de (na)zomer is de biomassa aan cyanobacteriën op het hoogtepunt.
- Op het oog blijkt er de laatste jaren, sinds 1995, geen verschil in de ontwikkeling van cyanobacteriën in spaarbekken De Gijster. In het voorgezuiverde Biesboschwater (Afgeleverd Water) is de biomassa aan cyanobacteriën sinds 1995 hoger dan de jaren ervoor en was de biomassa aan cyanobacteriën in 2007 hoger dan ooit. Opmerkelijk is de lage algenbiomassa in 2008.
- De totale algenbiomassa (chlorofyl *a*) is de laatste 10 tot 15 jaar in spaarbekken De Gijster en het voorgezuiverde Biesbosch (Afgeleverd Water) (met 30 tot ruim 50%) duidelijk afgenomen.
- In zowel spaarbekken De Gijster als in het voorgezuiverde water (Afgeleverd Water) was het biovolume aan cyanobacteriën de laatste 10 tot 15 jaar vergelijkbaar en kon geen verandering worden vastgesteld.
- In de laatste 15 jaar bereikten cyanobacteriën in het “ruwe” water (dus voor zuivering tot drinkwater) frequent een biomassa hoger dan 1,2 mm³/l. De hoogst gemeten biomassa bedroeg in deze periode ruim 7,2 mm³/l. Voor dit “ruwe” water kan worden gesteld dat de door de WHO voorgestelde drinkwaternorm voor toxines (1 µg/l) regelmatig overschreden wordt, want deze waarden komen overeen met een toxinegehalte van 3,6 µg/l met een maximum van 21,7 µg/l. Tot op dit moment wordt echter verondersteld dat dit geen gevaar oplevert voor de volksgezondheid, omdat in de drinkwaterzuiveringen, mits optimaal functionerend, de toxines grotendeels worden verwijderd. Ook dan zal direct gevaar voor de volksgezondheid zeer beperkt zijn, omdat de voorgestelde norm is opgesteld uitgaande van een levenslange blootstelling.
- Uit de bovenstaande conclusies kan worden gesteld dat de omvang van het probleem met planktonische cyanobacteriën van blijvende grootte is.

4.3 Geur en smaakstoffen

- De geur- en smaakproblematiek in de Biesboschspaarbekkens bestaat uit de productie van geosmine door *benthische* cyanobacteriën in met name de spaarbekkens Petrusplaat en De Gijster. De productie van 2-methylisoborneol is zeer beperkt.
- Het is niet de verwachting dat *planktonische* cyanobacteriën in de toekomst een probleem met geur- en smaakstoffen zullen veroorzaken. De hoge biomassa van 1995 en 2007 kan incidenteel leiden tot een theoretisch extracellulair geosmine-gehalte van respectievelijk 2 en 7 ng/l (House *et al.*, 2004), hetgeen rond de reukgrens van 5 ng/l ligt.
- De productie van geosmine door *benthische* cyanobacteriën in spaarbekken De Gijster is de laatste 10 tot 15 jaar toegenomen, waardoor in spaarbekken De Gijster en het voorgezuiverde Biesboschwater hogere concentraties van deze geur- en smaakstof worden gevonden (respectievelijk met 250 tot ruim 180%). De bestrijding in spaarbekken Petrusplaat alleen was de laatste jaren door de productie in spaarbekken De Gijster niet toereikend om lage gehalten te garanderen. In 2005 bedroeg het geosminegehalte 12 ng/l, hetgeen tot klachten van consumenten leidde.

4.4 “Nieuwe” bestrijdingsmethoden

- Het gebruik van Effectieve Micro-organisme en de toepassing van ultrasoon geluid blijken geen effect te hebben op de biomassa van cyanobacteriën. De algenbiomassa blijkt bij de toepassing van deze bestrijdingsmethoden zelfs toe te nemen.
- De drie andere methoden, fosfaatlimitatie met Phoslock, waterbehandeling met de Scavenger en de behandeling met waterstofperoxide, blijken de hoeveelheid planktonische cyanobacteriën terug te brengen of de ontwikkeling te beperken. Van deze methoden is de methode met waterstofperoxide in kosten veruit het voordeligst en worden door een waterbehandeling met Phoslock of waterstofperoxide goede resultaten in veldsituaties behaald.
- Alle drie de methoden zijn relatief kostbaar en moeten regelmatig worden herhaald.
- Alle bestrijdingsmethoden reduceren de planktonische cyanobacteriën, maar hebben geen beperkend effect op de benthische cyanobacteriën. De kans op een sterke toename van geosmine-producerende benthische cyanobacteriën neemt bij de toepassing van Phoslock zelfs duidelijk toe.
- Daarnaast bestaat er een kans dat door de toepassing van de “nieuwe” bestrijdingsmethoden met Phoslock een sterke ontwikkeling van waterplanten op het voorland mogelijk wordt. Gezien het grote areaal van het voorland kunnen deze waterplanten voor nieuwe problemen gaan zorgen.
- Het water van de Maas wordt de laatste jaren geleidelijk minder troebel en bevat minder voedingsstoffen, waardoor de kansen voor waterplanten bij ongewijzigd beleid en beheer zullen kunnen gaan toenemen.
- Aangezien duidelijk is dat het ondiepe voorland in De Gijster een belangrijke rol speelt bij het ontstaan van de problemen met *benthische* en *planktonische* cyanobacteriën, is het verdiepen van dit voorland de meest efficiënte oplossing. Doordat het voorland te diep wordt voor wortelende waterplanten, zal een toenemende kans voor deze groep door het beperkte areaal niet tot grote problemen leiden.

Literatuur

- Bresser, AHM, Berk, MM, Van den Born, GJ, Van Bree, L, Van Gaalen, FW, Ligtoet, W, Van Minnen, JG & Witmer, MCH. 2005. Effecten van klimaatverandering in Nederland. NMP, Bilthoven.
- Carmichael, WW & Falconer, IR. 1993. Diseases related to freshwater Blue-green algal toxins, and control measures. In: Falconer, IR (ed.). *Algal toxins in seafood and drinking water*. Academic Press, London. 187-209.
- Carpentier, CJ. 1996. De groei van geurbedervers. Onderzoek naar de factoren die het voorkomen verklaren van geosmine-producerende benthische cyanobacteriën in spaarbekken Petrusplaat. Rapport. N.V. WBB, Werkendam.
- Carpentier, CJ, Ketelaars, HAM & Waals, MJJ. 2000. Effecten van directe inname van Maaswater in het Biesboschspaarbekken Honderd en Dertig in 1998. Rapport, N.V. WBB, Werkendam.
- Ebbeng, JH, Wagenvoort, AJ & Ketelaars, HAM. 2000. Brasem (*Abramis brama*) beperkt de groei van geosmine-producerende benthische cyanobacteriën in het spaarbekken Petrusplaat. Rapport. N.V. WBB, Werkendam.
- Falconer, IR, Bartram, J, Chorus, I, Kuiper-Goodman, T, Utkilen, H, Burch, M & Codd, GA. 1999. Safe levels and safe practices. In: Chorus, I & Bartram, J (eds). *Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring and management*. E & FN Spon, London. 156-178.
- Farlow, WG. 1883. Relations of certain forms of algae to disagreeable taste and odors. *Science* 2: 333-334.
- Francis, G. 1878. Poisonous Australian lake. *Nature* 18: 11-12.
- Hoogenboezem, W, Wagenvoort, AJ & Blaauboer, K. 2004. The occurrence of toxic cyanobacteria in some Dutch surface waters used for the production of drinking water. RIWA-report, Nieuwegein.
- House, J L, Newcombe, HG & Burch, M. 2004. Management strategies for toxic blue-green algae: Literature review. Australian Water Quality Centre, Salisbury.
- Ibelings, B. 1996. Bestrijding van planktonische cyanobacteriën in de Biesboschspaarbekkens. Rapport. Haskoning, Nijmegen.
- Kardinaal, WEA & Visser, PM. 2005. Dynamics of cyanobacterial toxins. In: Huisman, J, Matthijs, HCP & Visser, PM (eds). *Harmful cyanobacteria*. Springer, Dordrecht. 41-64.
- Kardinaal, E, de Haan, M & Ruiter, H. 2008. Maatregelen ter voorkoming blauwalgen werken onvoldoende. *H₂O 7*: 4-7
- Ketelaars, HAM. 1994. Ursachen von Geruchs- und Geschmacksproblemen in der Trinkwasserversorgung und ihre Lösung: Eine Übersicht. In: Ketelaars, HAM, Nienhüser, AE & Hoehn, E (eds). *Die Biologie der Trinkwasserversorgung*. ATT Information, Academic Book Centre, De Lier: 133-153.
- Ketelaars, HAM & Ebbeng, H(J)H. 1994. Ursachen und Bekämpfung der Geruchs- und Geschmacksproblemen beim Speicherbeckenverband Brabantse Biesbosch. In: Ketelaars, HAM, Nienhüser, AE & Hoehn, E (eds). *Die Biologie der Trinkwasserversorgung*. ATT Information, Academic Book Centre, De Lier: 155-169.
- Koolmees, EM. 2007. Beheermaatregelen ter bestrijding van cyanobacteriënoverlast - Onderzoek naar effectiviteit en haalbaarheid. Rapport, DHV, Amersfoort. 69 pp.
- Lurling, M, Euwe, M & Tolman, Y. 2007. Onderzoek naar bestrijding van blauwalgen door middel van 'Effectieve Micro-organismen'. Rapport. Universiteit Wageningen. 71 pp.
- Lurling, M & Van Oosterhout, JFX. 2009. Flock & Lock in De Rauwbraken - Een innovatief experiment om blauwalgenbloei te voorkomen door vastleggen van fosfaat. Rapport. Universiteit Wageningen. 42 pp.
- Schatz, D., Keren, Y., Vardi, A., Sukenik, A., Carmeli, S., Borner, T., Dittmann, E. & Kaplan, A. 2007. Towards clarification of the biological role of microcystins, a family of cyanobacterial toxins. *Environmental Microbiology* 9: 965-970.
- Sivonen, K & Jones, G. 1999. Cyanobacterial Toxins. In: Chorus, I & Bartram, J (eds). *Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring and management*. E & FN Spon, London. 156-178.
- Tolman, Y. 2007. Control and prevention of cyanobacterial blooms - Laboratory and field experiments to test possible methods to control cyanobacteria. Afstudeerverslag. Universiteit Wageningen. 42 pp.
- Van Breemen, LWCA, Ketelaars, HAM, Visser, P & Ebbeng, JH. 1991. A new method to control growth of geosmin producing benthic cyanobacteria. *Verh. internat. Verein. Limnol.* 24: 2168-2173.
- Van Breemen, LWCA & Ketelaars, HAM. 1995. The influence of artificial mixing and other factors on algal biomass in the Biesbosch reservoirs. *Aqua* 44: 65-71.
- Van den Hove, L. 2001. Tropische blauwwier in Nederland aangetroffen : *Cylindrospermopsis raciborskii* kan zeer toxisch zijn. *H₂O* 34:12-13.
- Wagenvoort, AJ, Novemsia-Danuhyarsu, S, Van der Made-Engelberts, A, Pikaar-Schoonen, CPR & Trompetter, R. 2000. Productie van microcystine door een natuurlijke *Mircocystis*-populatie in de Biesboschspaarbekkens en het gehalte aan microcystine in gezuiverd drinkwater. Rapport. NV WBB, Werkendam.

- Wagenvoort, A. 2005a. Het voedselweb in de Biesboschspaarbekkens 2002 - 2004. Rapport. AqWa – ecologisch advies, Goes.
- Wagenvoort, A. 2005b. Bron van geosmine in spaarbekken De Gijster - Overzicht van de genomen maatregelen. Notitie. AqWa – ecologisch advies, Goes.
- Wagenvoort, A. 2007a. Presentatie Drema resultaten Tholen. Notitie. AqWa – ecologisch advies, Goes.
- Wagenvoort, A. 2007b. Bestrijding van algen door middel van ultrasoon geluid. Notitie. AqWa – ecologisch advies, Goes.
- Wagenvoort, A. 2008. Waterplanten in de Brabantsche Biesbosch. Notitie. AqWa – ecologisch advies, Goes.
- Wagenvoort, A & Pex, B. 2009. In het hoofdbekken loopt het fosfaatgehalte verder op - De limnologische toestand van De Lange Vlieter in 2008. Rapport. AqWa – ecologisch advies, Wilhelminadorp.
- WBB. 1985. Jaarverslag laboratorium 1983/1984. N.V. WBB, Werkendam.
- WBB. 1996. Jaarverslag 1995. N.V. WBB, Werkendam.
- Wessels, Y, Wagenvoort, AJ & Leenen, EJTM. 2006. Cyanobacteriën in De Gijster – Nader onderzoek risico's en oplossingsrichtingen. In opdracht van: Provincie Noord-Brabant. Rapport, AquaSense, Amsterdam. 47 pp.
- Wood, S, Williams, ST & White, WR. 1983. Microbes as a source of earthy flavours in potable water – a review. *Int. Biodeterioration Bulletin* **19**: 83-97.
- Young, WF, Horth, H, Crane, R, Ogden, T & Arnott, M. 1996. Taste and odour threshold concentrations of potential potable water contaminants. *Wat. Res.* **30**: 331-340.
-

Bijlage 1

Kentallen voedingsstoffen voor algen in de Biesboschspaarbekkens van 1990 tot en met 2008

parameter	kental	Maas te Keizersveer	Uitlaat De Gijster	Afgeleverd Water
nitraat (mg N/l)	5 ^e percentiel	2,9	2,6	2,4
	gemiddelde	3,9	3,5	3,1
	mediaan	3,8	3,5	3,1
	95 ^e percentiel	4,9	4,4	3,9
totaal fosfaat (mg P/l)	5 ^e percentiel	0,16	0,11	0,05
	gemiddelde	0,27	0,17	0,08
	mediaan	0,25	0,17	0,07
	95 ^e percentiel	0,42	0,23	0,12
silicaat (mg Si/l)	5 ^e percentiel	0,7	0,3	0,3
	gemiddelde	2,9	1,7	1,6
	mediaan	3,1	1,6	1,3
	95 ^e percentiel	4,6	3,8	3,4