

MAATREGELEN TER BESTRIJDING VAN BLAUWALGOVERLAST IN RECREATIEPLAS 'T BOVENWATER



Waterschap Zuiderzeeland
2012



koeman en bijkerk bv
ecologisch onderzoek en advies



COLOFON

Titel:	Maatregelen ter bestrijding van blauwalgoverlast in Recreatieplas 't Bovenwater.
Datum:	20-12-2012
Auteurs:	Reinder Torenbeek (Torenbeek Consultant), Ronald Bijkerk (Koeman en Bijker bv)
Status:	Definitief
In opdracht van:	Waterschap Zuiderzeeland
Begeleiding:	Martijn Hokken, Kristiaan Petie

INHOUD

1	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doel	5
1.3	Aanpak	5
2	Huidige situatie.....	6
2.1	Waterkwaliteit	6
2.2	Algen	7
2.3	Waterplanten en maaibeheer.....	9
3	Fosfaatbelasting.....	14
3.1	Inleiding.....	14
3.2	Waterbalans.....	14
3.3	Fosfaatbelasting	15
4	Maatregelen	18
4.1	Inleiding.....	18
4.2	Long list maatregelen.....	18
4.3	Vergelijking maatregelen	26
4.4	Aanbeveling.....	27
Bijlage 1.	Literatuur	28
Bijlage 2.	Peilbuizen	29
Bijlage 3.	Fytoplankton	31
Bijlage 4.	Berekening waterbalans.....	38
Bijlage 5.	Berekening fosfaatbelasting	41
Bijlage 6.	Berekening kritische P-belasting.....	43

SAMENVATTING

Aanleiding

Recreatieplas 't Bovenwater kampt 's zomers met overlast door drijfslagen van potentieel toxische blauwalgen. In opdracht van het Waterschap Zuiderzeeland is onderzocht welke maatregelen genomen kunnen worden om deze overlast te voorkomen en/of afdoende te bestrijden.

Probleem

De blauwalg die het meest verantwoordelijk is voor de overlast in 't Bovenwater, is *Anabaena*. Dit is een groep van blauwalgen die ook in minder voedselrijke wateren voorkomen en in staat zijn tot fixatie van moleculaire stikstof. Om de groei van deze blauwalg te beperken moet daarom gestuurd worden op fosfaat.

Anabaena kan zich concentreren in het bovenste deel van de waterkolom en vervolgens door de wind naar de oever gedreven worden. Hierdoor kan zich ook in heldere, waterplantrijke plassen een lokale drijfslag vormen. Hoe lager de fosfaatbelasting, hoe kleiner de kans op een omvangrijke, langer durende drijfslag.

Fosfaatbelasting

Gemiddeld over het zomerhalfjaar is de fosfaatbelasting op 't Bovenwater relatief laag. Met een waarde van 0,61 mg P/m²/dag ligt hij tussen de beide waarden voor de kritische fosfaatbelasting (de kritische belasting voor de omslag van helder naar troebel is geschat op 1,38 mg P/m²/dag en die voor troebel naar helder op 0,11 mg P/m²/dag). De grootste posten op de fosfaatbelasting zijn inlaatwater en maaisel van waterplanten. Door het maaien vindt er een verandering in het systeem plaats. Het maaisel gaat rotten, fosfaten komen vrij, algen komen tot ontwikkeling en de waterplanten sterven af. Hierdoor komen nog meer fosfaten vrij en ontstaat een bloei van blauwalgen.

Maatregelen

Om blauwalgoverlast te bestrijden stellen we een tweesporenbeleid voor:

- 1) het verkleinen van de kans op het optreden van drijfslagen door een vermindering van de fosfaatbelasting op 't Bovenwater, via:
 - a) aanpassing van het maai-beheer: zo min mogelijk en zo laat mogelijk in het jaar maaien en het maaisel af te voeren. Hierdoor proberen te voorkomen dat het systeem omslaat.
 - b) defosfatering van het inlaatwater voor het peilbeheer;
 - c) aanpassen peilbeheer waardoor zo min mogelijk water hoeft te worden ingelaten.
- 2) het actief bestrijden van drijfslagen wanneer die zich voordoen, via:
 - a) toepassing van waterstofperoxide;
 - b) afzuiging van drijfslagen.

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Recreatieplas 't Bovenwater (kortweg: 't Bovenwater) is een aangelegde plas nabij Lelystad. Functies van het water zijn: zeilen, surfen, zwemmen en wonen. Vrijwel vanaf de aanleg van de plas vormt de ecologische ontwikkeling een probleem voor een goede vervulling van deze functies. In de beginjaren vormde de groei van waterplanten overlast. Later, toen de waterplanten met regelmaat gemaaid werden, veroorzaakte de groei van blauwalgen overlast.

Er zijn diverse maatregelen genomen die soms in de loop der jaren aangepast of geoptimaliseerd zijn. Momenteel lijkt de groei van waterplanten onder controle door het maaibeheer, waarbij waterplanten op een bepaalde diepte gemaaid worden. Blauwalgen veroorzaken echter nog steeds periodiek overlast. Het waterschap en de gemeente zijn daarom op zoek naar aanvullende maatregelen om de overlast door blauwalgen afdoende te bestrijden. Het waterschap heeft Torenbeek Consultant en Koeman en Bijkerk bv opdracht gegeven dit te onderzoeken. Voorliggend rapport is het resultaat van die studie.

1.2 Doel

Het doel van het onderzoek is een lijst te maken van mogelijke maatregelen om overlast door blauwalgen te voorkomen en/of te bestrijden. Van deze maatregelen moeten de effecten en de kosten bepaald worden. Met het resultaat moet het waterschap in overleg met gemeente en andere betrokkenen een gefundeerde keuze voor maatregelen kunnen maken.

1.3 Aanpak

Voor de studie zijn eerst gegevens verzameld over de waterkwaliteit, de ecologische ontwikkeling en het gevoerde beheer tot nu toe. Bij het zoeken naar mogelijke maatregelen speelt de belasting van het water met fosfaat een belangrijke rol. Daarom is mede op basis van nieuwe gegevens de fosfaatbalans uitgerekend.

Vervolgens is een lijst van mogelijke maatregelen opgesteld. Als "inspiratiebron" zijn maatregelen uit rapportages over de bestrijding van blauwalgen in andere wateren gebruikt en praktijkervaring met uitgevoerde maatregelen in andere wateren.

Van de maatregelen is de effectiviteit bepaald. Indien de maatregel zich richt op het fosfaat, is de reductie van de fosfaatbelasting uitgerekend. Van de andere maatregelen is de effectiviteit bepaald op basis van ervaring met de maatregel in andere wateren en *expert judgement*.

2 HUIDIGE SITUATIE

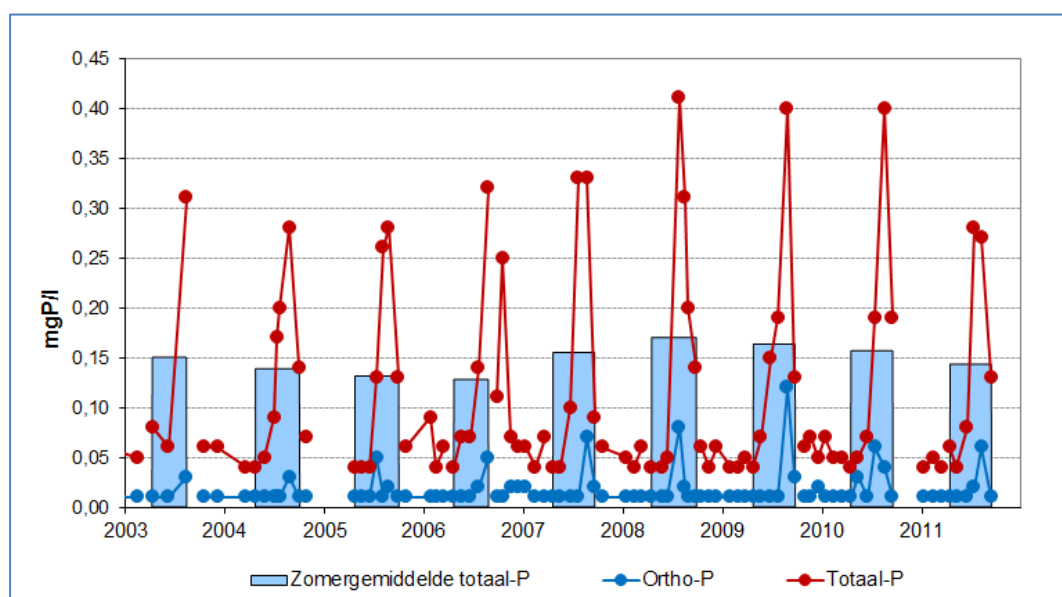
2.1 Waterkwaliteit

De fosfaatconcentratie over de periode 2003-2011 is weergegeven in Figuur 1. De concentratieniveaus zijn de laatste jaren vrij stabiel, maar de variatie over het zomerhalfjaar is ongewoon en groot: rond 0,05 mg P/l in de winter- en zomermaanden, tot 0,30 à 0,40 mg P/l in de zomermaanden. Het zomergemiddelde totaal-fosfaat ligt rond de 0,15 mg P/l.

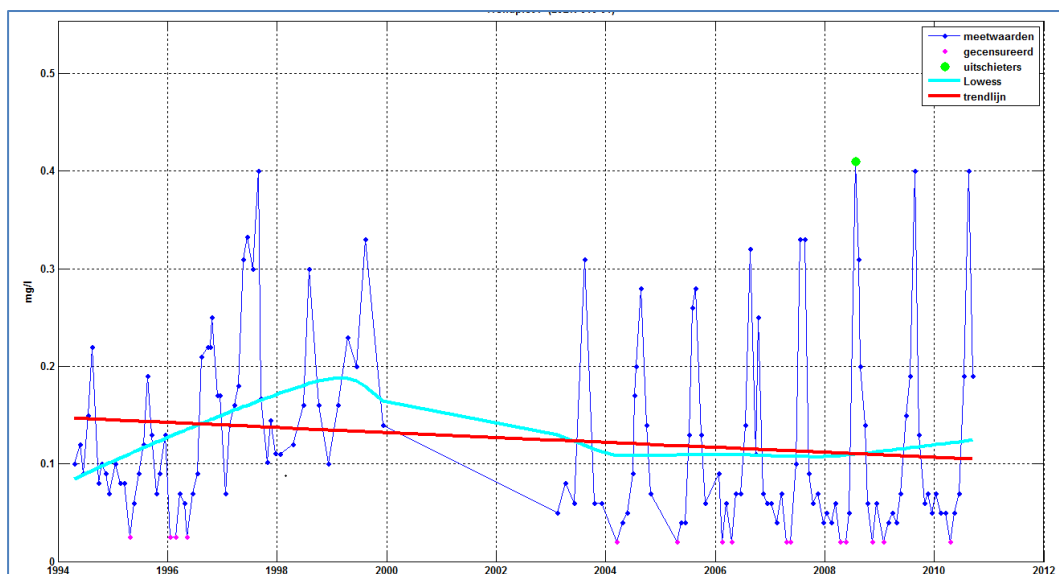
Ook over een langere periode (1991-2011) is er geen significante trend vast te stellen in het gehalte totaal-fosfaat (Figuur 2).

Conclusie

Het fosfaatgehalte is stabiel en gemiddeld niet hoog, maar vertoont ongewoon hoge pieken in de zomer.



Figuur 1 Fosfaatconcentratie ortho- en totaalfosfaat, 2003-2011



Figuur 2 Lange-termijn trend concentratie totaal-fosfaat.

2.2 Algen

Hoeveelheid

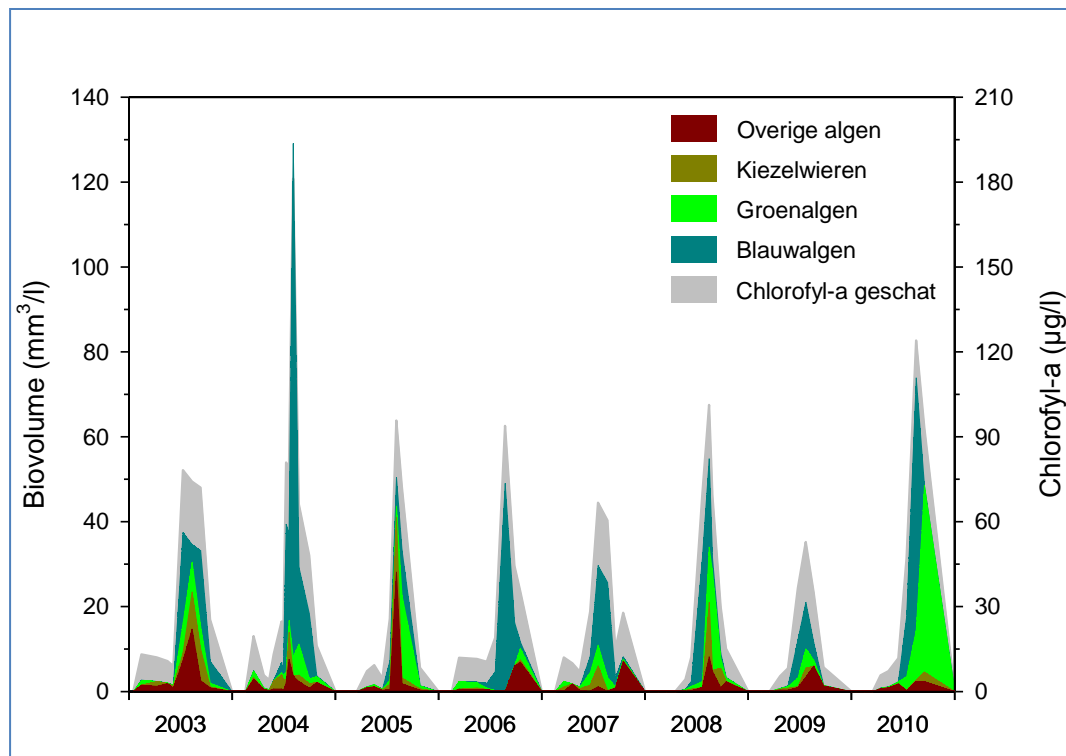
De biomassa van fytoplankton vertoont de hoogste waarden in juli-augustus (Figuur 3). In het voorjaar en de voorzomer is de hoeveelheid in verhouding laag. In 2003-2007 tekent zich een bescheiden voorjaarspiek af in februari-maart. Deze is gemist in de meest recente jaren waarin pas vanaf april of mei bemonsterd is.

Het biomassa-aandeel van de verschillende hoofdgroepen toont verschillen van jaar tot jaar. In 2004, 2006 en 2007 hebben blauwalgen een groot aandeel in de zomerse algenbiomassa. In de andere jaren is dat aandeel minder en treden algen uit de groepen groenalgen, kiezelwieren of overige algen meer op de voorgrond.

Blauwalgen

In de meeste jaren bestaat de groep blauwalgen voor het overgrote deel uit potentieel toxische blauwalgen, die in staat zijn tot de vorming van drijfslagen (Bijlage 3). Elk jaar overschrijdt de hoeveelheid potentieel toxische blauwalgen de grens van $2,5 \text{ mm}^3/\text{l}$. Voor oppervlaktewater met een zwemwaterfunctie betekent dit Risiconiveau 1, conform het Blauwalgenprotocol 2012. In de meeste jaren wordt ook de grens van $15 \text{ mm}^3/\text{l}$ overschreden, Risiconiveau 2, wat aanleiding kan zijn voor een negatief zwemadvies.

In 't Bovenwater zijn soorten uit het geslacht *Anabaena* (Figuur 4) verreweg het meest betrokken bij normoverschrijdende blauwalgbloeien. Van de 24 bloeien die tussen 2003 en 2010 kwamen er 17 op het conto van alleen dit geslacht. Van de andere zeven werden er twee alleen door *Planktothrix* veroorzaakt, één alleen door *Microcystis* en vier door een combinatie van geslachten.



Figuur 3 Verloop van het biovolume van fytoplankton, met de bijdrage van de vier algenhoofdgroepen en het hieruit geschatte gehalte chlorofyl-a.

Om inzicht te krijgen in de stuurfactoren achter de fytoplanktonontwikkeling, zijn de algen die in 't Bovenwater zijn aangetroffen ingedeeld in functionele groepen. Functionele groepen verschillen in gevoeligheden en toleranties voor bepaalde milieufactoren, of in andere eigenschappen en daarmee in habitatkeuze of seizoenspiek.

Een gemeenschappelijk kenmerk van vrijwel alle in 't Bovenwater belangrijke functionele groepen, is hun voorkeur voor eutrofe tot geëutrofiëerde, ondiepe, goed gemengde wateren (Bijlage 3). De meeste tolereren lichttekort, maar zijn gevoelig voor nutriëntentekort of begrazing. Een uitzondering vormt de groep van stikstoffixeerders (*Anabaena*), die zowel stikstof- als koolstoftekort tolereert, maar gevoelig is voor lichttekort.

Conclusie

De overlast door blauwalgen wordt voornamelijk veroorzaakt door Anabaena, een potentieel toxische soort, die een drijfslag kan vormen en stikstof uit de lucht kan binden. Sturing van de biomassa van deze soort kan het beste via de fosfaatbelasting.

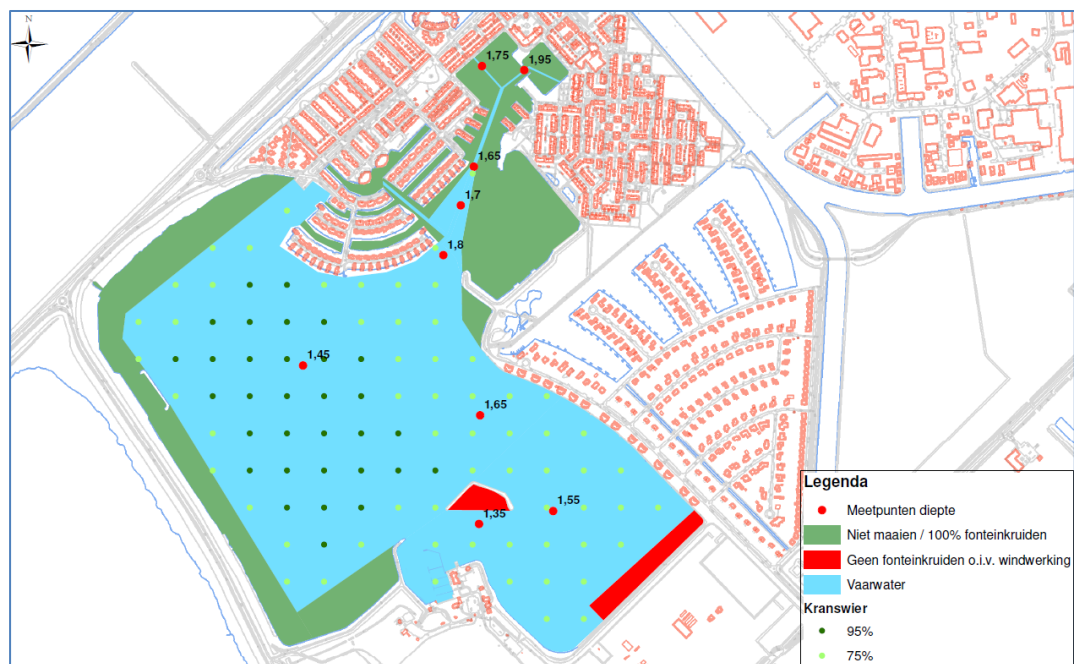


Figuur 4 Foto van *Anabaena*, een soort uit de *flos-aquae* groep; de optisch lege cellen zijn heterocyten die een rol spelen in de fixatie van moleculaire stikstof (foto: Koeman en Bijkerk bv).

2.3 Waterplanten en maaibeheer

De laatste jaren is de bedekking met kranswieren steeds verder toegenomen. Fonteinkruiden komen over de hele plas voor, maar in verschillende hoeveelheden. Grote delen van 't Bovenwater zijn met een bedekking van 75% tot 90% begroeid met kranswieren. Hier komen weinig fonteinkruiden voor (bedekking ca. 10-25%). Dichte velden met fonteinkruiken komen langs de westelijke oevers en in de noordelijke inham in het stedelijk gebied voor. In Figuur 5 is de huidige bedekking van 't Bovenwater met kranswieren en fonteinkruiden gegeven.

Ter bestrijding van de overmatige groei van waterplanten werd in de periode 1997 tot en met 2002 de bodem geveegd. Vanaf 2003 is de gemeente overgegaan tot knippend maaien op 1 meter onder het wateroppervlak in plaats van het vegen van de vegetatie. In 2007 is het maaibeheer geïntensiveerd na klachten vanuit de zeilvereniging. Dit is gedaan door meer materieel in te zetten en eerder te beginnen met maaien. Vanaf 2008 is de diepte van het maaien gereduceerd naar 80 centimeter. Bovendien zijn bepaalde randen van het meer niet gemaaid. Zie ook Figuur 5.



Figuur 5 Bedekking kranswieren en fonteinkruiden, 2012

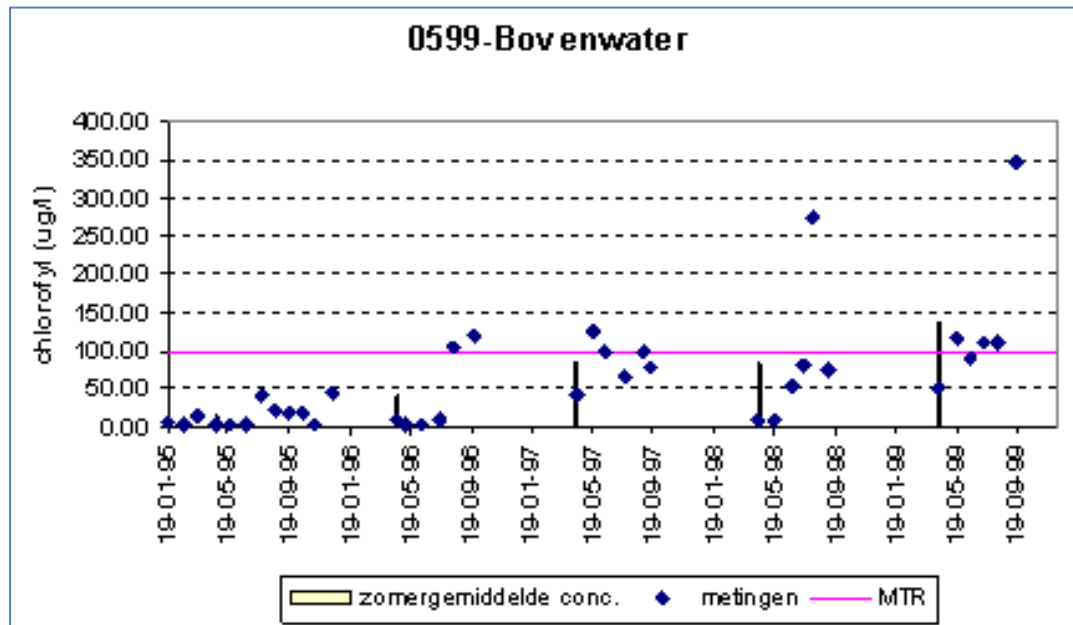
Het maai-beheer zoals dat vanaf 2003 is uitgevoerd, is gericht op het bestrijden van fonteinkruiden (met name Schedefonteinkruid) en het stimuleren van kranswieren. De gedachte daarachter is dat waterplanten en hun aangroei-elalgen fosfaat kunnen opnemen en vasthouden in de zomerperiode. Deze fosfaten zijn dan niet meer beschikbaar voor de groei van algen. Kranswieren zijn planten die niet hoog worden. Over een kranswieveld kan goed gevaren worden. Het idee is dat de maai-intensiteit en -frequentie hiermee op termijn gereduceerd kan worden.

Het maaisel wordt niet direct verzameld. Hierdoor waait het maaisel langs de oever bijeen. Vanaf daar wordt het maaisel wel zoveel mogelijk op de kant gebracht en later afgevoerd. Het is echter niet altijd goed mogelijk om met een boot het maaisel te bereiken. Hierdoor blijft soms veel maaisel tussen het riet langs de oever liggen. Zie hiervoor de foto's van Figuur 7. De foto van Figuur 8 toont een depot van maaisel langs de kant.

Het maaisel dat niet wordt afgevoerd kan gaan rotten en daarbij komen fosfaten vrij. Dit kan dus zorgen voor een fosfaatbelasting. De hoogte daarvan wordt in hoofdstuk 3 berekend. Naast het rotten van maaisel kan ook (extra) fosfaat vrijkomen door het maaien, doordat de gemaaide waterplanten fosfaat gaan lekken. Met name kranswieren die toch nog gedeeltelijk gemaaid worden, kunnen snel mineraliseren en fosfaat lekken. Ook is gesignaleerd dat gemaaide fonteinkruiden plat gaan liggen en daarmee hun vitaliteit verliezen.

Doordat er in relatief korte tijd veel fosfaten vrijkomen die niet meer door waterplanten worden opgenomen, kunnen algen tot ontwikkeling komen. Hierdoor neemt de helderheid van het water af, waardoor de achtergebleven waterplanten nog sneller

afsterven en mineraliseren. Op dat moment is de weg tot bloei van blauwalgen vrij. Het maaibeheer initieert dus een heel proces, dat uiteindelijk leidt tot bloei van blauwalgen. In Figuur 6 is het chlorofylgehalte in 't Bovenwater in de jaren 1995-1999 weergegeven (uit: ARCADIS, 2003). In 1995 werden de waterplanten nog niet bestreden. Vanaf 1996 is begonnen met de bestrijding van waterplanten door de bodem te vegen. Duidelijk is, dat in 1995 het chlorofylgehalte, en dus de groei van algen, laag bleef, ook gedurende de zomer.



Figuur 6 Chlorofyl in 't Bovenwater, 1995-1999. Uit ARCADIS (2003)

Conclusies

- Het maaibeheer van de laatste jaren heeft enerzijds succes: het areaal kranswieren heeft zich sterk uitgebreid.
- Anderzijds leidt het maaien en de huidige manier van afvoeren van het maaisel uiteindelijk tot een omslag van het systeem, waarbij blauwalgen tot bloei komen.



Figuur 7 Foto's bijeengedreven maaisel langs de kant



Figuur 8 Foto maaiseldepot

3 FOSFAATBELASTING

3.1 Inleiding

Fosfaat is een belangrijke voedingsstof voor algen en blauwalgen. Een teveel aan fosfaat leidt tot overmatige groei. Daarbij is vooral de belasting van fosfaat van belang, dat wil zeggen de hoeveelheid fosfaat die per tijdseenheid aan het water wordt toegevoegd.

Mogelijke maatregelen zullen daarom voor een deel zich richten op het reduceren van deze fosfaatbelasting. Om de effectiviteit van dit type maatregelen te kunnen bepalen, moet dus de fosfaatbelasting bepaald worden en vervolgens de mate waarin deze door de maatregel afneemt.

De toevoer van fosfaat naar 't Bovenwater is voor een belangrijk deel gekoppeld aan waterstromen. Daarom wordt eerst een waterbalans opgesteld. Pas daarna komt de fosfaatbelasting aan bod. Daarbij worden ook bronnen betrokken die niet aan een waterstroom gebonden zijn.

Omdat de overlast door blauwalgen vooral in warme en droge zomers voorkomt (zie Figuur 13 in Bijlage 3), zijn de waterbalans en fosfaatbelasting ook voor die klimatologische omstandigheden uitgerekend. Als referentie is de periode 1 april tot en met 31 september 2003 gebruikt.

3.2 Waterbalans

Een aantal bronnen van fosfaat zijn gekoppeld aan waterstromen. Daarom is eerst een waterbalans gemaakt. De berekening van de waterbalans is uitgewerkt in Bijlage 4. Het resultaat van de waterbalans voor 't Bovenwater voor een droge zomer is gepresenteerd in Tabel 1.

Tabel 1 Waterbalans Bovenwater

Aanvoerende posten in 1000 m ³ per zomerhalfjaar		Afvoerende posten in 1000 m ³ per zomerhalfjaar	
Inlaat hevel	750	Afvoer naar Hollandse Hout	76
Regenwateruitlaten	93	Uitzakken waterstand	-68
Dijkse kwel	78	Wegzijging	445
Neerslag	406	Verdamping	874
Totaal	1.234	Totaal	1.237

De grootste ingaande waterstroom is de inlaat via de hevel. Daarnaast is neerslag een belangrijke post. Het water verdwijnt voornamelijk via verdamping en wegzijging.

3.3 Fosfaatbelasting

De belasting van 't Bovenwater met fosfaat is enerzijds gekoppeld aan de aanvoerende waterstromen. Anderzijds zijn er belastingen die niet aan een waterstroom zijn gekoppeld: belasting door watervogels en belasting door afbraak van drijvend maaisel. De berekeningen van de fosfaatbelasting zijn gepresenteerd in Bijlage 5. Het resultaat is weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2 Fosfaatbelasting Bovenwater in het zomerhalfjaar van een warme en droge zomer.

Post	Debiet	Concentratie	Vracht	Belasting	Belasting
Eenheid	m ³ /zomer	mgP/l	kgP/zomer	mgP/m ² /dag	%
Neerslag	406.451	0,018	7	0,030	5%
Dijkse kwel	77.563	0,1	8	0,031	5%
Inlaat hevel	750.000	0,1	75	0,304	50%
Regenwateruitlaten	93.333	0,26	24	0,098	16%
Zwanen			3	0,013	2%
Maaisel			32	0,132	22%
Totaal			150	0,608	100%

Deze totale belasting leidt tot een eindconcentratie van ca. 0,11 mg P/l. De berekende *gemiddelde* fosfaatbelasting kan dus de gemiddelde fosfaatconcentratie verklaren.

Kritische P-belasting.

In de theorie over de ecologie van zoete, ondiepe Nederlandse meren zijn (ten minste) twee situaties mogelijk: een situatie met dominantie van waterplanten en helder water, en een situatie met dominantie van algen en troebel water. Het ecosysteem kan van de ene toestand in de andere omslaan. De fosfaatbelasting speelt daarbij een belangrijke rol.

In een worst case situatie is voor 't Bovenwater een *gemiddelde* fosfaatbelasting van 0,6 mg P/m²/dag berekend (zie paragraaf 3.3). Om een idee te krijgen voor de ecologische betekenis van deze belasting is de kritische fosfaatbelasting uitgerekend voor de omslag van helder naar troebel water en voor de omslag troebel naar helder water. Hiervoor is gebruik gemaakt van metamodel PCLake, dat via de STOWA online beschikbaar wordt gesteld. De achtergronden en de invoer van dit metamodel zijn beschreven in Bijlage 6. De uitkomsten van het metamodel zijn:

- kritische belasting omslag helder naar troebel: 1,38 mg P/m²/d;
- Kritische belasting omslag troebel naar helder: 0,11 mg P/m²/d.

De huidige fosfaatbelasting zit dus tussen beide kritische belastingen in. Uit ervaring weten we dat zonder maaien of met beperkt maaien 't Bovenwater gedomineerd wordt door waterplanten en helder water heeft. Deze situatie kan met de huidige fosfaatbelasting naar verwachting duurzaam in stand blijven.

Variatie gedurende de zomerperiode

Bovenstaande zijn gemiddelde waarden over de hele zomerperiode gegeven. Het optreden van de piek in de algenconcentratie en de bloei van blauwalgen kan hiermee nog niet goed verklaard worden. Hiervoor zijn twee verklaringen:

- De verdeling van de posten over de zomer is niet gelijkmatig.
- Door het maaien vindt uiteindelijk een omslag van het systeem plaats.

Er is nagegaan hoe groot de fosfaatbelasting in een “extreme” maand maximaal zou kunnen zijn. Bij de berekening van een maximale belasting per maand is uitgegaan van:

- Een maximaal debiet van de hevel: 280.000 m³ in een maand.
- 40% van het totale schutverlies vindt plaats in één maand.
- De waterstand zakt volledig (5 cm) uit in één maand.
- Het maai-beheer vindt plaats gedurende 3 maanden, in plaats van verspreid over het hele zomerhalfjaar. De belasting door rottend maaisel is in een “extreme maand” dus 2 maal zo hoog als gemiddeld.

Om de waterbalans kloppend te maken, moet ook nog aan de neerslag en de verdamping “gesleuteld” worden. De balansen worden kloppend als gekozen wordt voor een hoeveelheid neerslag van 0 en een verdamping van 5,3 mm/dag. In de balansen van het zomerhalfjaar was gerekend met 1,65 mm/dag neerslag en 3,55 mm/dag verdamping. Een verdamping van 5,3 mm/dag is hoog, maar deze waarde komt wel vaker voor.

De berekende fosfaatbelasting voor deze fictieve extreme maand is gegeven in Tabel 3.

Tabel 3 Fosfaatbelasting voor een “extreme” zomermaand.

	Debiet	Concentratie	Vracht	Belasting	Belasting
	m ³ /maand	mgP/l	kgP/maand	mgP/m ² /dag	%
Neerslag	-	0,018	-	0,000	0%
Dijkse kwel	12.927	0,1	1,3	0,031	3%
Inlaat hevel	280.000	0,1	28,0	0,682	69%
Regenwateruitlaten	-	0,26	-	0,000	0%
Zwanen			0,5	0,013	1%
Maaisel			10,8	0,263	27%
Totaal			40,6	0,989	100%

De fosfaatbelasting in deze “extreme” maand is hoger dan de gemiddelde maandbelasting die was berekend voor een warme zomer, maar is nog niet in staat om de pieken van de fosfaatconcentratie te verklaren. Als eerste moet daarbij worden opgemerkt dat de hoeveelheid maaisel op en langs de oevers gebaseerd is op een eenmalige opname. Het is waarschijnlijk dat er op dat moment ook nog maaisel in 't Bovenwater aanwezig was, dat niet op de kant bijeen gedreven was. Bovendien komt er ook nog maaisel vrij bij het maai-beheer dat na de opname plaatsvindt.

Om het inzicht in de hoeveelheid fosfaat die uit planten vrij kan komen te vergroten, zijn de resultaten van het onderzoek van de Radboud Universiteit en B-Ware voor het project Baggernut van belang (Van den Berg *et al*, 2012). Via labexperimenten maar ook via veldmetingen is onderzocht hoeveel fosfaat uit waterplanten vrij kan komen en met

welke snelheid dit gebeurt. Op basis van literatuurgegevens concluderen de auteurs dat “de afbraak van waterplanten grofweg in drie fasen gaat. In de eerste fase komen nutriënten vrij door lekkage van het plantenmateriaal. De tweede en derde fase worden gedomineerd door microbiële afbraak van het plantenmateriaal en verdere versnippering van het materiaal. De eerste fase kan zeer snel verlopen (dagen/weken), de tweede en derde fase duren beduidend langer.” Uit de diverse experimenten en metingen concluderen de onderzoekers dat bij een maximale bedekking van waterplanten (1,1 kg drooggewicht per vierkante meter bodem) bij het afsterven daarvan 100 mg fosfaat per vierkante meter per dag kan vrijkomen. Over een periode van 2 weken zou dit voor het Bovenwater een belasting betekenen van 1.890 kg fosfaat. Dit is 50 maal zoveel als de berekende hoeveelheid fosfaat die uit het maaisel dat op de kant is aangetroffen, kan vrijkomen. De genoemde fosfaatflux is echter gebaseerd op een maximale bedekking (biomassa) met waterplanten. Bij lagere bedekking is de fosfaatflux ook lager. Om de hoeveelheid fosfaat die uit de waterplanten van 't Bovenwater vrij kunnen komen beter te kunnen vaststellen, zouden metingen van de biomassa waterplanten per vierkante meter bodem uitgevoerd moeten worden. Als deze bijvoorbeeld vijf maal zo laag is als de berekeningen bij een maximale biomassa-bedekking, dan nog is de hoeveelheid fosfaat die vrij kan komen tien maal zo hoog als is berekend uit de hoeveelheid waargenomen maaisel.

Verder moet bedacht worden dat door het maaien het proces van afsterven van de waterplanten en het vrijkomen van fosfaten, versneld wordt. Het maaisel sterft in ieder geval direct af, maar ook de planten die achterblijven zijn minder vitaal en sterven vroeger af. Geconstateerd is bijvoorbeeld dat de gemaaide fonteinkruiden (dus de delen die nog in de bodem wortelen) plat op de bodem gaan liggen. Door het maaien komen fosfaten dus vroeger in het jaar in grote hoeveelheden vrij.

Alle gegevens duiden erop dat door de huidige manier van maaien en behandeling van het maaisel een proces in gang gezet wordt, waarbij uiteindelijk een omslag plaatsvindt van een helder, plantenrijk systeem naar een troebel, algenrijk systeem. De hoge pieken in het fosfaatgehalte zijn daarmee te verklaren.

Conclusies

- *De totale fosfaatbelasting is niet erg hoog. Belangrijkste posten zijn: aanvoer van water via de hevel en rottend maaisel.*
- *De berekende totale fosfaatbelasting kan het gemiddelde fosfaatgehalte verklaren. De pieken in de fosfaatconcentratie zijn echter niet te verklaren, ook niet door de belasting te differentiëren gedurende de zomerperiode.*
- *Alle gegevens duiden erop dat door de huidige manier van maaien en behandeling van het maaisel fosfaten eerder in het jaar vrij komen, waardoor een proces in gang gezet wordt, waardoor uiteindelijk een omslag plaatsvindt van een helder, plantenrijk systeem naar een troebel, algenrijk systeem. Hiermee kunnen de waargenomen pieken in fosfaat- en chlorofylconcentratie verklaard worden.*

4 MAATREGELLEN

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk werken we toe naar een concreet voorstel voor aanvullende maatregelen. Eerst presenteren we een long list met mogelijke maatregelen (paragraaf 4.2). In paragraaf 4.3 beoordelen we de maatregelen op basis van effectiviteit, haalbaarheid en kosten. In paragraaf 4.4 geven we op basis van die beoordeling een concreet voorstel voor aanvullende maatregelen.

4.2 Long list maatregelen

1. *Aanpassen maaibeheer*

De gemeente heeft in 2012 al besloten het maaibeheer verder aan te passen. De insteek is: niet maaien. In ieder geval wordt het routinematig vijf dagen per week maaien verlaten. Via een wekelijkse monitoring wordt gekeken of en waar fonteinkruiden toch nog te dicht en te hoog komen. In dat geval wordt op die betreffende locatie(s) gemaaid. Ook de maaimethode zelf wordt aangepast. Er wordt gemaaid op ca. 60 cm boven de waterbodem. In Figuur 9 zijn de richtlijnen voor het maaibeheer vanaf 2013 gegeven.

Het niet maaien voorkomt waarschijnlijk het optreden van pieken in de fosfaatconcentratie en het uiteindelijk geheel afsterven van waterplanten en het omslaan van het systeem.

Minder vaak maaien betekent dat er ten opzichte van het huidig beheer kosten bespaard kunnen worden.

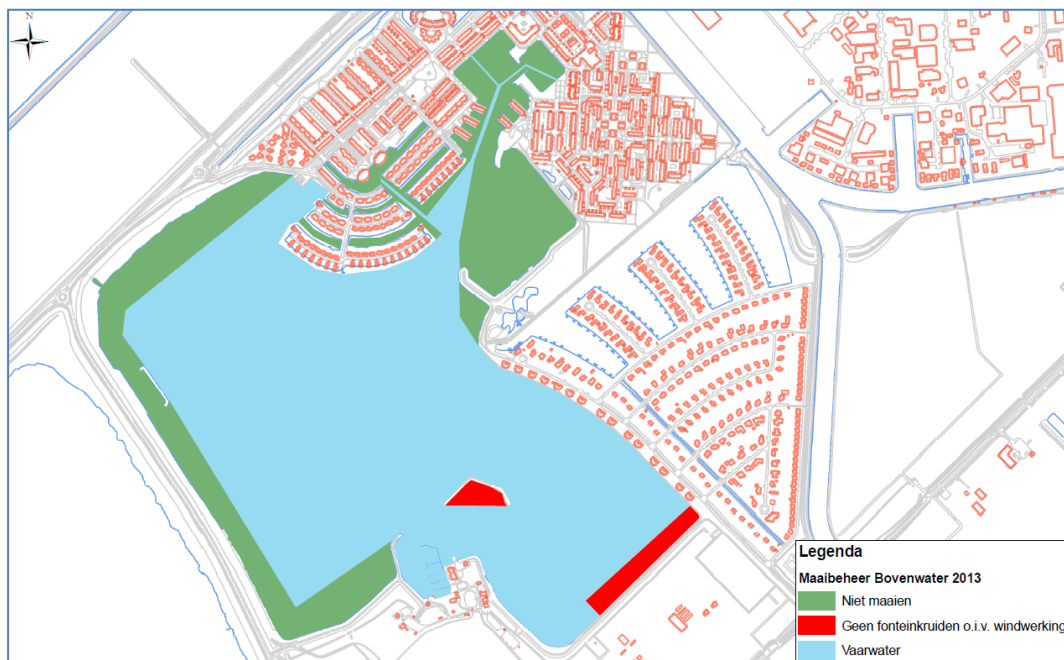
2. *Verzamelen en afvoeren maaisel*

Het maaisel werd tot nu toe niet direct verzameld. In paragraaf 2.3 hebben we laten zien dat veel maaisel op de oever en tussen het riet blijft liggen. In paragraaf 3.3 hebben we uitgerekend dat dit voor een aanzienlijke fosfaatbelasting kan zorgen. Direct verzamelen en afvoeren van maaisel beperkt dus de fosfaatbelasting, en draagt op die manier bij aan het reduceren van de biomassa aan blauwalgen en mogelijk zelfs het voorkómen van het omslaan van het systeem. Het maaisel dat tijdelijk op de kant gezet wordt door de combi-maaiboot zou het beste kunnen gebeuren op enkele meters van de waterlijn verwijderd en op een niet-hellend talud, zodat afspoeling zoveel mogelijk wordt voorkomen. De hoeveelheid fosfaat die uit maaisel vrij komt, is de eerste dagen tot enkele weken het grootste en neemt daarna aanzienlijk af (Van den Berg *et al*, 2012).

Een optie is ook nog om aan het eind van het groeiseizoen alle resterende waterplanten te verwijderen. Hiermee worden ook fosfaten afgevoerd. Het nuttig effect daarvan is echter beperkt, omdat in het najaar de kans op algenbloei steeds kleiner wordt. Bovendien bestaat het risico dat de vitaliteit van de planten en daarmee de hergroei in het volgend voorjaar afneemt. Deze optie wordt dus niet direct aanbevolen.

Met het afvoeren van het maaisel wordt de gemiddelde fosfaatbelasting ten minste met 22% gereduceerd. In werkelijkheid is het effect vrijwel zeker groter, omdat de fosfaatbelasting uit het maaisel waarschijnlijk groter is dan wij hebben berekend.

De inzet van een combi-maaiboot kost ongeveer € 95.000,- per jaar (opgaaf gemeente).



Figuur 9 Richtlijnen voor het maabeheer, geldig vanaf 2013

3. Beperken inlaat Markermeerwater

De inlaat van Markermeerwater via de hevel draagt substantieel bij (50%) aan de fosfaatbelasting. Beperken van de inlaat heeft dus zin. Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden:

- Aanpassen peilbeheer Bovenwater: verschil tussen zomer- en winterpeil vergroten.
- Aanpassen peilbeheer Hollandse Hout: waterstand in de zomer laten uitzakken (gebeurt nu niet).
- Wateraanvoer naar Hollandse Hout niet via Bovenwater, maar met een gemaal vanuit de Lage Dwarsvaart.

In een aparte notitie (Torenbeek, 2012) zijn deze mogelijkheden verder verkend. De besparing op de hoeveelheid inlaatwater is als volgt:

- Aanpassen peil Bovenwater: 18% besparing
- Flexibel peil Hollandse Hout: 1% besparing
- Aanvoer Hollandse Hout via gemaal: 10% besparing.

De reductie van de totale fosfaatbelasting van deze maatregelen is:

- Aanpassen peil 't Bovenwater: 9%
- Flexibel peil Hollandse Hout: 0,5%
- Aanvoer Hollandse Hout via gemaal: 5%.

De kosten van een ander peilbeheer zijn nihil. De kosten van het plaatsen van een gemaal voor aanvoer naar Hollandse Hout vanuit de Lage Dwarsvaart bedraagt ca. € 20.000 - € 30.000.

4. Zuiveren inlaatwater

Een andere mogelijkheid om de belasting via het inlaatwater te reduceren is niet de hoeveelheid inlaatwater te beperken, maar het water te zuiveren. Dit kan via een chemische behandeling door toediening van ijzerchloride, dat fosfaat adsorbeert waarna de complexen uitvlokken en bezinken. Op diverse locaties in Nederland, met name bij Waternet, wordt deze maatregel met succes ingezet, vooral bij waterlichamen met een hoge natuurdoelstelling, zoals het Naardermeer, Botshol, de Vinkeveense plassen, etc. Aandachtspunten zijn:

- IJzerchloride heeft een pH van 2. Er zijn veel maatregelen nodig, zoals een dubbelwandige tank, een douche, etc.
- Er moet een ruimte gemaakt worden waar de vlokvorming plaatsvindt. Hiervoor is een goede menging van het water met de chemicaliën nodig.
- Er is een bezinkruimte nodig, waarin de vlokken met ijzerfosfaat kunnen bezinken.
- De bezinkruimte moet geregeld gebaggerd worden. Meestal is dit eens in de 10 jaar.
- De installatie moet per as bereikbaar zijn.
- Voor de dimensionering is het nodig de eigenschappen van het te zuiveren water (in dit geval Markermeerwater) te kennen. Er zijn schudproeven nodig met het water in de zomerperiode waarin de vlokvorming onderzocht wordt.
- De effectiviteit moet goed gemonitord worden. Daarvoor is het handig als het water de bezinkruimte via een stuw verlaat. Een klein peilverschil van bijvoorbeeld 2 cm is voldoende. Op deze wijze kan het effluent goed bemonsterd worden.

Met vergelijkbare installaties bij Waternet wordt een zuiveringsrendement van ca. 80% bereikt. Voor 't Bovenwater betekent dat een reductie van de totale fosfaatbelasting van 40%.

De kosten bestaan uit eenmalige inrichtingskosten en uit jaarlijkse beheerkosten. De inrichtingskosten zijn erg afhankelijk van de lokale situatie. Vooral de inrichting van de bezinkruimte vraagt om locate inpassing. Soms is een sloot aanwezig die als bezinkruimte ingericht kan worden. De kosten worden aanzienlijk hoger als (dure) grond moet worden aangekocht. In het geval van 't Bovenwater zijn de kosten waarschijnlijk relatief minder hoog. De bezinkruimte kan in 't Bovenwater worden aangelegd door een dammetje parallel aan de dijk aan te leggen. Door Waterschap Noorderzijlvest is het water waarmee De Blauwe Stad is gevuld, gedefosfateerd. De aanleg van die installatie (inclusief bezinkbassin) was ruim 6 ton. De kosten worden voorlopig geschat op een paar ton.

De jaarlijkse kosten bestaan uit de aanschaf van de chemicaliën en de afschrijving van de baggerkosten. Het leegbaggeren van de bezinkruimte moet ongeveer eens in de 10 jaar plaatsvinden. De kosten daarvan kunnen over een periode van 10 jaar afgeschreven worden. De kosten van beide onderdelen (chemicaliën en baggeren) bedragen ca. € 0,03 per kubieke meter te zuiveren inlaatwater. Indien 750.000 m³ in een droge, warme zomer wordt ingelaten, bedragen de kosten € 22.500. Bij inlaat van 400.000 m³ (een meer gemiddelde situatie) bedragen de kosten € 12.000.

Het zuiveren van het inlaatwater via een helofytenfilter is geen reële maatregel. Helofytenfilters zijn alleen bedoeld voor zuivering van afvalwater, dus van organisch belast water. Het zuiveringsrendement van relatief schoon oppervlaktewater is zeer laag of soms zelfs negatief (het komt er vliezer uit). Een helofytenfilter is daarom niet in de longlist opgenomen.

5. Reductie vuiluitworp regenwateruitlaten

Er zijn maatregelen mogelijk om de reductie van de vuiluitworp via de regenwateruitlaten te reduceren. In Nederland is nog relatief weinig ervaring met zuiverende systemen (Rombout, 2007).

Door Rombout (2007) zijn de kosten en de effectiviteit onderzocht van de volgende maatregelen: lamellenseperator, helofytenfilter, bezinkbak/bezinkvijver, bodempassage en doorlatende verharding. De effectiviteit van deze maatregelen lopen sterk uiteen. Van de lamellenseperator is de reductie van de vuiluitworp bijvoorbeeld 28-60%. De kosten variëren ook sterk. Het goedkoopst is de lamellenseperator: € 3,10 tot € 5,70 per behandelde m² verhard oppervlak. De doorlatende verharding is het duurst: € 23,- tot € 70,- per behandelde m² verhard oppervlak. Voor de woonwijk langs 't Bovenwater (31 ha) variëren de totale kosten tussen een ton en ruim 20 miljoen euro.

Als een gemiddeld zuiveringsrendement van 50% wordt aangehouden, betekent dit een reductie van de totale fosfaatbelasting met 8%.

Deze kosten betreffen alleen (eenmalige) aanlegkosten. Anders dan in een zuiveringsinstallatie zijn er geen of zeer lage onderhoudskosten. Lamellenfilters moeten regelmatig geschoond worden, een helofytenfilter en een bezinkbak vragen ook onderhoud, maar een doorlatende verharding vraagt geen onderhoud.

6. Phoslock

Deze behandeling richt zich op het verwijderen van fosfaat uit het water en het voorkomen van nalevering van fosfaat uit de bodem. Eerst wordt aluminiumzout toegevoegd, waardoor fosfaten en algen gebonden worden en bezinken. Daarna wordt gemodificeerde klei (met o.a. lanthaan) toegediend om het neergeslagen fosfaat te fixeren. Deze methode is vooral effectief in gesloten systemen. Er zijn enkele locaties met succes behandeld (ARCADIS, 2012). Er is nog wel onduidelijkheid over het effect op (andere) aquatische organismen.

De maatregel werkt alleen in geïsoleerde wateren waarbij geen nieuwe belasting met fosfaat plaatsvindt. De aanwezige fosfaten in het water worden door phoslock voor lange tijd (jaren) op de bodem vastgelegd. Nieuw toegevoegde fosfaten worden echter niet verwijderd. Aangezien bij 't Bovenwater fosfaten via de inlaat worden toegediend en fosfaten via (al of niet gemaaide) waterplanten jaarlijks vrijkomen, is de maatregel in het geval van 't Bovenwater weinig zinvol.

De kosten hangen af van de hoeveelheid fosfaat in het water. Op basis van ervaring met andere plassen bedragen de kosten van een eenmalige behandeling van 't Bovenwater € 7.000 tot € 2.000.000. De maatregel heeft normaliter een werkingsduur van ca. 10 jaar. Omgerekend zijn de jaarlijkse kosten € 700 tot € 200.000.

7. Peroxide

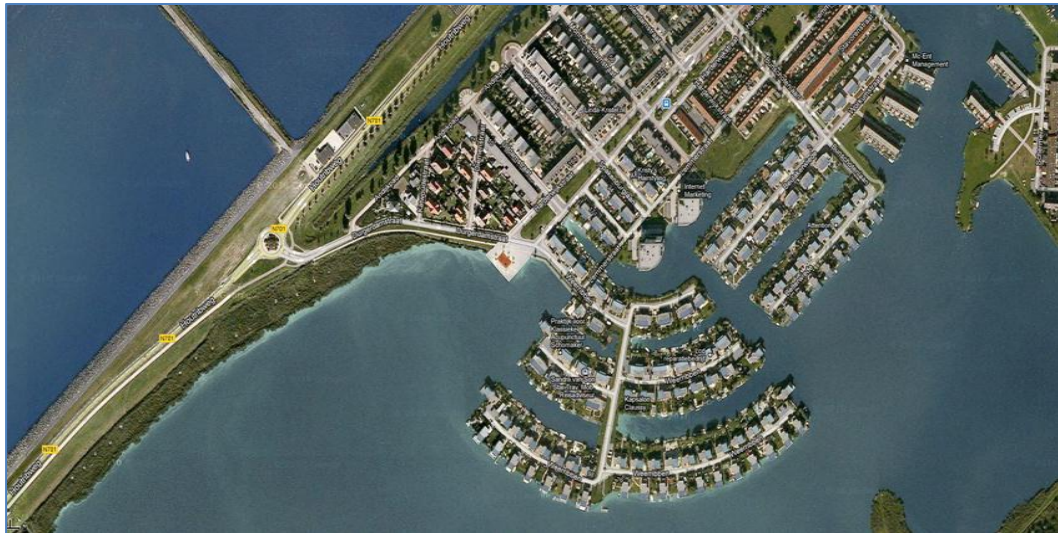
Deze maatregel richt zich op het verwijderen van blauwalgen die tot ontwikkeling zijn gekomen, en valt daarmee in de categorie symptoombestrijding. De methode is gebaseerd op de recent gevonden ontdekking bij de Universiteit van Amsterdam dat blauwalgen gevoeliger zijn voor peroxide dan ander algen. Een essentieel onderdeel van de methode is dat het meteen raak moet zijn. De hele populatie moet in een paar uur uitgeschakeld worden. Hier staat of valt de effectiviteit van de methode mee. , zachter heelmeesters maken stinkende wonden. Het beste is om meteen de hele populatie in een paar uur uit te schakelen. Het waterstofperoxide moet in korte tijd homogeen over het water verdeeld worden om selectieve afdoding mogelijk te maken.

De behandeling van het hele Bovenwater, wat wel nodig is, kost waarschijnlijk enkele tonnen. Er is echter een mogelijkheid om 't Bovenwater in een pilot van de Universiteit van Amsterdam op te nemen, en hiervoor subsidie te ontvangen.

8. Olieschermen

Deze maatregel is gericht op het opvangen van drijvende blauwalgen die door de wind bijeengedreven worden. Daarmee valt het dus in de categorie symptoombestrijding. De maatregel kan ingezet worden om het zwemstrandje of de inhammen bij De Weerribben van blauwalgen te vrijwaren. De effectiviteit is mede afhankelijk van de windrichting. In Figuur 10 is zichtbaar dat blauwalgen naar de noordelijke oevers geblazen zijn. Verder moeten de algen die achter het olieschermblijven hangen, actief geruimd moeten worden (zie verder onder maatregel 9).

De kosten van olieschermen zijn niet hoog.



Figuur 10 Bijgegedreven blauwalgen langs noordoever. Bron: Google Earth.

9. Drijfslag verwijderen

Als er zich drijfslagen vormen die door de wind bijeen geblazen worden, kan deze verwijderd worden. De maatregel valt in de categorie symptoombestrijding. Bij de gemeente Almere wordt dit op succesvolle wijze uitgevoerd met een ruimboot.

De maatregel moet waarschijnlijk gedurende een bepaalde periode in de zomer regelmatig worden ingezet om de drijfslagen te verwijderen.

10. De-icers

In inhammen waar blauwalgen bijeen drijven, kunnen de-icers ingezet worden om het water te mengen en zo de drijfslag door de waterkolom te verspreiden. De de-icers moeten zo worden geplaatst, dat er een circulatie ontstaat waarbij water uit de inham naar het open meer wordt verplaatst.

Er zijn goede ervaringen met deze methode in de havens van Almere. Er is in het verleden ook met de-icers geëxperimenteerd bij de inhammen in de woonwijk De Weerribben van Lelystad. Daar was het succes minder groot. Waarschijnlijk zijn er niet voldoende de-icers ingezet, was de capaciteit van de de-icers te klein of zijn ze op verkeerde wijze ingezet (uitwisseling met open water is niet bereikt).

Een nadeel van de-icers is de geluidsoverlast. De kosten van de-icers variëren sterk. Grote de-icers kosten ca. € 2000 (informatie gemeente Almere). Omdat er waarschijnlijk per inham meerdere de-icers nodig zijn en omdat er meerdere inhammen zijn, bedragen de totale investeringen enkele tienduizenden euro's. Daar komen de kosten voor energieverbruik nog bij.

11. Isoleren en zuiveren zwemlocatie

Een optie om overlast die bij het zwemstrand ontstaat te reduceren, is het hydrologisch isoleren van de zwemlocatie en het zuiveren van het water, bijvoorbeeld via zandfiltratie en UV-behandeling. Deze maatregel is voor zover bekend nog niet eerder uitgevoerd en is door ARCADIS (2012) als kansrijke maatregel voor een zwemlocatie in het Zuidlaardermeer genoemd. Hiervoor moet het volgende worden uitgevoerd:

- Hydraulisch isoleren van de zwemlocatie, bijvoorbeeld middels een slibscherm.
- Plaatsen van een pomp.
- Plaatsen van een zuiveringsunit op de oever. Hiervoor is een snelfiltratie met relatief grof materiaal het meest geschikt (voorkomen van verstopping).
- Het effluent zo ver mogelijk van het influent lozen. Er moet een circulatie van het water in de geïsoleerde zwemlocatie ontstaan.

Deze oplossing heeft als risico dat het gevoelig is voor (bedoelde of onbedoelde) vernieling, vooral wat betreft de isolatie. Bovendien wordt het probleem bij het zwemstrandje opgelost, maar op andere locaties niet.

De kosten van een slibscherm bedragen ca. € 120-150 per meter. Daar komen de installatiekosten nog bij. Voor een lengte van 250 meter komen de kosten neer op ruim € 50.000 (ARCADIS, 2012). De kosten van de zuiveringsunit zijn door ARCADIS niet gegeven.

Overige, niet uitgewerkte maatregelen

Er zijn diverse andere maatregelen die genoemd worden bij het reduceren van de fosfaatbelasting en de bestrijding van overlast door blauwalgen. De STOWA geeft een uitgebreid overzicht van mogelijke maatregelen. We noemen hier de volgende maatregelen die niet verder worden uitgewerkt:

- Olivijn. Rijkswaterstaat heeft het gebruik van Olivijn voor de waterkwaliteit door Deltares laten onderzoeken (Bakker *et al*, 2012). Olivijn is een mineraal waarmee kooldioxide uit het water kan worden gebonden. Door Bakker et al (2012) zijn ook de neveneffecten van het gebruik van olivijn onderzocht. Genoemd worden een verhoging in de zuurgraad, effecten op SiO₄ en de effecten daarvan op driehoeksmosselen, algen en watervlooien. Bestrijding van blauwalgen wordt niet als effect of als doel genoemd. Er zijn ook geen aanwijzingen of experimenten van het gebruik van olivijn in relatie tot bestrijding van blauwalgen.
- Doorspoelen met schoon water. Dit heeft alleen effect als de verblijftijd minder dan 10 dagen wordt. Het volume van 't Bovenwater is 1.755.000 m³. Dit betekent dat een debiet van 2 m³ per seconde moet worden ingesteld. De hevel heeft een maximum debiet van ongeveer 7000 m³ per dag, wat neer komt op 0,08 m³ per seconde (80 liter per seconde). Het debiet zou dus 25 maal zo hoog moeten worden. Het provinciaal beleid is echter gericht om niet meer water uit te slaan dan nodig is. De maatregel wordt daarom als niet realistisch beschouwd.
- Actief biologisch beheer. Dit betreft het ingrijpen in het ecosysteem, meestal via de visstand. Omdat de visstand hier niet het probleem is, is actief biologisch beheer hier niet zinvol.
- Membraamfiltratie. Niet toepasbaar in veld.

- Langzame zandfiltratie. Mogelijk toepasbaar op kleine systemen.
- Actief koolstof filter. Toepassing in waterzuivering, geen kennis bestrijding blauwalg. Niet in oppervlaktewater.
- Ozonbeluchting. In water met weinig opgelost organisch materiaal.
- Kaliumpermanganaat. Onvoldoende bekend voor toepassing in veld.
- Chloordioxide. Veel gebruikt in zuiveringsindustrie. Onvoldoende bekend voor toepassing in veld.
- Klappen door osmotische druk. Geen praktische toepassing bekend.
- Klappen door hydrostatische druk. Matig toepasbaar in diepe meren. Sterfte van andere biota (ongewenst neveneffect).
- Rottend stro (gerstestro en rijstestro). Optimale werking na 6 maanden. Remming groei blauwalgen waargenomen, bloei wordt niet voorkomen.
- Seakleen. Niet geschikt voor oppervlaktewater.
- Cyanometabolieten (nostocarboline, cyanobacterin, fischerellin). Remmend effect gevonden, geen praktische toepassing.
- Moringa oleifera. Remming groei blauwalgen waargenomen. Onderzoek is gestaakt; geen praktische toepassing; isoleren werkzame stof en vrijkomen nutriënten.
- Fruitschillen (banaan en mandarijn). Remming blauwalgen waargenomen bij één onderzoek. Niet geschikt voor toepassing in veld.
- Bestraling met UV. Weinig onderzoek naar effect ter bestrijding blauwalgen. Niet in veld i.v.m. neveneffecten.
- Ultrasoon geluid. Niet in veld. Marginale groeiremming, geen sterfte, alleen filamentfragmentatie.
- Electropulse. Enkel onderzoek in lab. Niet toepasbaar in veld.
- Driehoeksmossel. Niet effectief bij kolonievormende algen.
- Cyanofagen. Mechanisme bekend, nog geen praktische experimenten. Nog niet inzetbaar in het veld; zeer gastheerspecifiek, oncontroleerbaar.
- Goudalg. Werking zeer onwaarschijnlijk.
- Droogval. Niet gewenst in het geval van 't Bovenwater.

4.3 Vergelijking maatregelen

De genoemde maatregelen zijn beoordeeld op basis van effectiviteit, haalbaarheid en kosten. Zie hiervoor Tabel 4. De kosten zijn de extra kosten, dat wil zeggen: ten opzichte van het huidige beheer.

Tabel 4 Vergelijking mogelijke maatregelen

Maatregel	Effectiviteit	Haalbaarheid	Duurzaamheid	Investeringskosten	Jaarlijkse kosten
Maatregelen die de kans op groei van blauwalgen verkleinen					
1. Aanpassen maaibeheer	++	+	+	0	0
2. Verzamelen en afvoeren maaisel	++	+	-	-	-
3.a. Peilbeheer Bovenwater	+	+	+	0	0
3.b. Peilbeheer Hollandse Hout	0	+	+	0	0
3.c. Afkoppelen Hollandse Hout	0	+	-	-	0
4. Zuiveren inlaatwater	+	0	-	--	-
5. Emissie regenwateruitlaten beperken	0	0	+	--	0
6. Phoslock	0	0	-	0	--
Maatregelen die ontstane blauwalgdrijflagen verwijderen					
7. Waterstofperoxide	++	0	-	0	--
8. Olieschermen	+	0	+	0	0
9. Drijflagen ruimen	+	0	-	0	-
10. De-icers	+	0	-	-	-
11. Zwemlocatie zuiveren	+	0	-	--	-

Legenda

Effectiviteit

++	Zeer effectief.
+	Effectief.
0	Weinig of niet effectief.

Haalbaarheid

+	Zeer goed haalbaar.
0	Neutraal: haalbaar maar kost wel enige moeite.
-	Niet echt haalbaar.

Duurzaamheid

+	Duurzaam. Geen energie of grondstoffen nodig. Landurig effect.
-	Niet duurzaam. Energie en/of grondstoffen nodig. Jaarlijkse herhaling nodig.

Kosten

0	Laag.
-	Matig.
--	Hoog.

4.4 Aanbeveling

Aanbevolen wordt een tweesporenbeleid in te zetten:

1. Bloei van blauwalgen zoveel mogelijk voorkomen

De maatregelen moeten in de eerste plaats gericht zijn op het voorkómen van blauwalgenbloei. Dit kan door waterplanten zoveel mogelijk tot ontwikkeling te laten komen en belasting van fosfaat zoveel mogelijk te reduceren:

- Het maabeheer aan te passen: zo weinig mogelijk en zo laat mogelijk in het jaar maaien. Hiermee kunnen ten opzichte van het huidig beheer kosten bespaard worden.
- Het maaisel af te voeren. Hiermee zijn wel extra kosten gemoeid.
- Het inlaatwater chemisch te zuiveren. Ook hiervoor moeten extra kosten gemaakt worden.
- Het peilbeheer van 't Bovenwater flexibeler te maken, zodat minder water hoeft te worden ingelaten. Deze maatregel is matig effectief, maar omdat er geen extra kosten gemaakt hoeven te worden, wel aanbevolen.

2. Symptoombestrijding

De kans op ontwikkeling van drijfslagen van blauwalgen blijft aanwezig. Dat is zeker het geval als op zeker moment besloten wordt te gaan maaien. Maar ook in heldere, plantenrijke systemen horen bepaalde soorten blauwalgen thuis. Bij te intensieve groei van blauwalgen is symptoombestrijding het aangewezen middel. Dit kan door:

- Behandeling met waterstofperoxide. Kostbaar maar effectief.
- Inzet van de-icers. Minder kostbaar, maar ook minder haalbaar vanwege geluidsoverlast.
- Afzuigen drijfslagen. Minder kostbaar, maar ook minder haalbaar wegens de noodzaak tot dagelijkse uitvoer gedurende een bepaalde periode.

Los van deze praktische maatregelen moet nagedacht worden over de vraag hoe omgegaan moet worden met tegenstrijdige belangen van 't Bovenwater. Schoon water, zonder overlast door blauwalgen en tegelijk een goede bevaarbaarheid bij een veilige waterdiepte zijn feitelijk niet te combineren. Er moet gekeken worden in welke mate het niet (volledig) voldoen aan alle belangen acceptabel is.

BIJLAGE 1. LITERATUUR

- Aalderink H, J Langeveld, E Liefing & A de Weme (2009). *Oppervlaktewaterkwaliteit: wat zijn de relevante emissies? Vergelijkende analyse van vervuilingbronnen en maatregelen aan het afvalwatersysteem, beoordeeld op hun effect op de kwaliteit van diverse oppervlaktewateren*. Stichting Rioned.
- ARCADIS (2003). *Beheeradvies Bovenwater*. Gemeente Lelystad.
- ARCADIS (2012). *Haalbaarheidsonderzoek blauwalgen Zuidlaardermeer*. In opdracht van Waterschap Hunze en Aa's.
- Bakker DJ, V Beumer, N Hartog, WJM Snijders, MS Sule & JPM Vink (2012) *Toepassing van olivijn in RWS-werken. Inventarisatie van mogelijkheden voor een pilot*. Deltares. In opdracht van Rijkswaterstaat.
- Berg LJJ van den, MDM Poelen, NG Jaarsma, JJM Geurts, RJ Brederveld & LPM Lamers (2012). *WaterBODEMbeheer in Nederland: Maatregelen Baggeren en Nutriënten (BAGGERNUT) – De rol van vissen, planten, zuurstof en temperatuur bij de nalevering van nutriënten*. Resultaten experimenten RUN en B-Ware. Radboud Universiteit Nijmegen & B-Ware Research Centre.
- Droogers, P. (2009). *Verbetering bepaling actuele verdamping voor het strategisch waterbeheer. Definitiestudie*. STOWA-rapport 2009-11.
- Padisak J, LO Crossetti & L Naselli-Flores (2009) Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia* 621: 1-19.
- Reynolds, CS (2006) *Ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge. 535 pp.
- Rombout J, FC Boogaard, J Kluck & R Wentink (2007) *Zuiverende voorzieningen regenwater. Verkenning van de kennis van ontwerp, aanleg en beheer van zuiverende regenwatersystemen*. STOWA-rapport 2007-20.

BIJLAGE 2. PEILBUIZEN

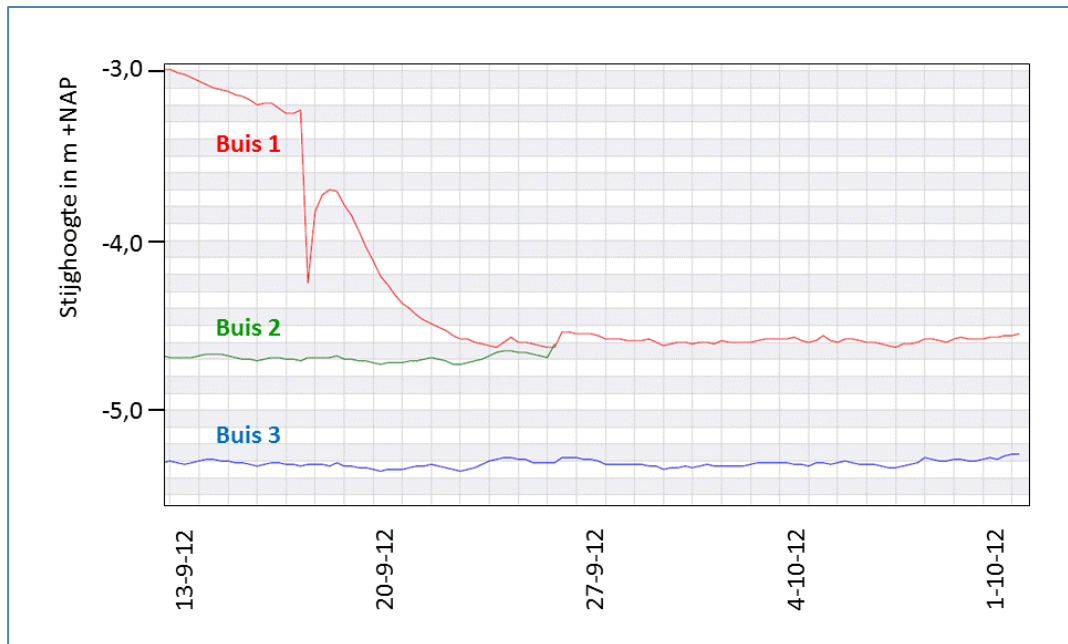
Het was altijd nog onzeker of in het hele gebied van 't Bovenwater en Hollandse Hout wegzijging plaatsvond, of misschien gedeeltelijk ook kwel. Dit laatste werd vooral verwacht in de omgeving van de Markermeerdijk. Mogelijke aanwijzingen daarvoor waren zwakke plekken in het ijs in de winter van 2011-2012 die mogelijk zogenaamde kwelvensters konden zijn.

Om dit nader te onderzoeken zijn in de nazomer van 2012 drie peilbuizen geplaatst. De ligging is op onderstaande kaart aangegeven.



Het filter van buis 1 zit op ca. 18 meter ten opzichte van het maaiveld. De filters van de twee andere buizen zitten veel minder diep: bijna 7 meter ten opzichte van het maaiveld bij buis 2 en 5,5 meter bij buis 3.

Het resultaat van de metingen is in onderstaande figuur gegeven. In het begin van de meetperiode was buis 1 nog niet goed ingeregeld. Vanaf ongeveer 26 september 2012 zijn de metingen wel goed. De metingen van de buizen 2 en 3 zijn wel vanaf het begin goed. De meting van buis 3 is op 26 september beëindigd.



De waterstand van 't Bovenwater is 3,0 meter –NAP. De stijghoogten in de drie buizen is beduidend lager: bijna 2 meter lager in de buizen 1 en 2 en meer dan 2 meter in buis 3. Dit betekent dat er bij alle buizen sprake is van een drukverschil dat ertoe leidt dat water naar beneden wil stromen (wegzijing). Of en hoe groot de wegzijing is, hangt ondermeer af van de waterdoorlatendheid van de ondergrond.

Hierbij moet nog het volgende worden opgemerkt: buis 1 bevindt zich in het talud van de Markermeerdijk. Het filter is erg diep geplaatst. Hoewel er dus sprake is van wegzijing, wil dat nog niet zeggen dat er tegelijk ook dijkse kwel kan optreden. Dijkse kwel is een stroming in horizontale richting door het dijklichaam heen. Deze stroming kan dus plaatsvinden boven op de verticaal gerichte wegzijing.

BIJLAGE 3. FYTOPLANKTON

Deze bijlage geeft een beschrijvende analyse van het fytoplankton in 't Bovenwater: om welke hoeveelheden en functionele groepen gaat het, wat is de variatie in de tijd en welke sturende factoren kunnen aan de fytoplanktonontwikkeling ten grondslag liggen.

Beschikbare gegevens

Gegevens over de soortensamenstelling en abundantie van fytoplankton in 't Bovenwater zijn vanaf 1998 beschikbaar (Tabel 5). Voor deze studie zijn de resultaten gebruikt uit de meetjaren 2003-2010. De fytoplanktonmonsters zijn steeds genomen op hetzelfde meetpunt: het einde van de steiger in de jachthaven (x = 156.891, y = 499.964, in 2010). De monsters zijn afwisselend geanalyseerd door WGS (Waterschap Groot Salland) en KenB (Koeman en Bijkerk bv). In de data zitten daardoor verschillen in de eenheid waarin de resultaten zijn uitgedrukt (WGS: individuen per ml, KenB: cellen per ml en individuen¹ per ml) en in de wijze van determineren (WGS onderscheidt in het algemeen hogere taxonomische niveaus² dan KenB en WGS onderscheidt geen grootteklassen³).

Tabel 5 Jaarlijks aantal fytoplanktonmonsters per maand uit 't Bovenwater met analyserende instantie (KenB = Koeman en Bijkerk; WGS = Waterschap Groot Salland).

Jaar	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	Analist
1998		1	1	1	1	1	1	1	1		WGS
1999		1	1	1		1	1	1		1	WGS
2000											
2001											
2002											
2003	1		1	1	1	1	1	1	1		WGS
2004		1	1	2	2	2	2	1	1		KenB/WGS
2005			1	1	1	1	2		1		KenB
2006		1		1	1	1	1	1	1		KenB
2007		1	1	1	1	1	1	1	1		KenB
2008				1	1	1	2	1	1		KenB
2009			1	1	1	1	1	1			KenB
2010			1	1	1	1	1	1			WGS

¹ Een individue is een kolonie of een draad die uit meerdere cellen bestaat.

² Het laagste taxonomische niveau is een soort. Hogere taxonomische niveaus zijn bijvoorbeeld geslacht of familie.

³ De grootte van één cel kan soms sterk variëren, ook voor een bepaalde soort. Eén cel kan dus een verschillend biovolume hebben. Het onderscheiden van grootteklassen van cellen verhoogt dus de betrouwbaarheid van de berekening van het biovolume.

Voorafgaand zijn de fytoplanktongegevens qua naamgeving en eenheid geharmoniseerd. Uit de abundantie in cellen per ml is het biovolume per onderscheiden taxon geschat in mm^3 per l, door vermenigvuldiging met een taxonspecifieke waarde voor het gemiddelde celvolume, afgeleid uit meetgegevens van Koeman en Bijkerk. Het biovolume correspondeert beter met het chlorofyl-a-gehalte (een andere biomassamaat) dan de dichtheid en geeft een betere indicatie van het belang van een soort als consument van schaarse nutriënten en als voedsel voor herbivore organismen. Daarbij komt dat de verschillende risiconiveaus van potentieel toxische blauwalgen eveneens gedefinieerd zijn in termen van biovolume.

Uit het biovolume is een berekening gemaakt van het chlorofyl-a-gehalte met behulp van de regressie:

$$\log [\text{Chla}] = 0,825 + 0,679 \log [\text{Biovolume}], \text{ met } r^2 = 0,81 \text{ (Bijkerk ongepubl.)}$$

Voor de interpretatie is het biovolume gesommeerd per hoofdgroep en voor de potentieel toxische blauwalgen. Als potentieel toxisch zijn in deze dataset de soorten beschouwd uit de genera *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Aphanizomenon*, *Cuspidothrix* (= *Aphanizomenon*), *Microcystis* (met uitzondering van *M. wesenbergii*), *Planktothrix*, *Raphidiopsis* en de soort *Woronichinia naegeliana*.

Daarnaast is het biovolume per functionele groep berekend. Functionele groepen verschillen in gevoeligheden en toleranties of andere eigenschappen en daarmee in habitatkeuze of seizoenspiek. Soorten kunnen bijvoorbeeld gevoelig zijn voor nutriëntentekort maar tolerant voor lichttekort, of gevoelig voor lichttekort en in staat tot fixatie van moleculaire stikstof. De indeling van algensoorten in functionele groepen is gebaseerd op Reynolds 2006, Padisak *et al.* 2009 en eigen ervaringen.

Biovolume

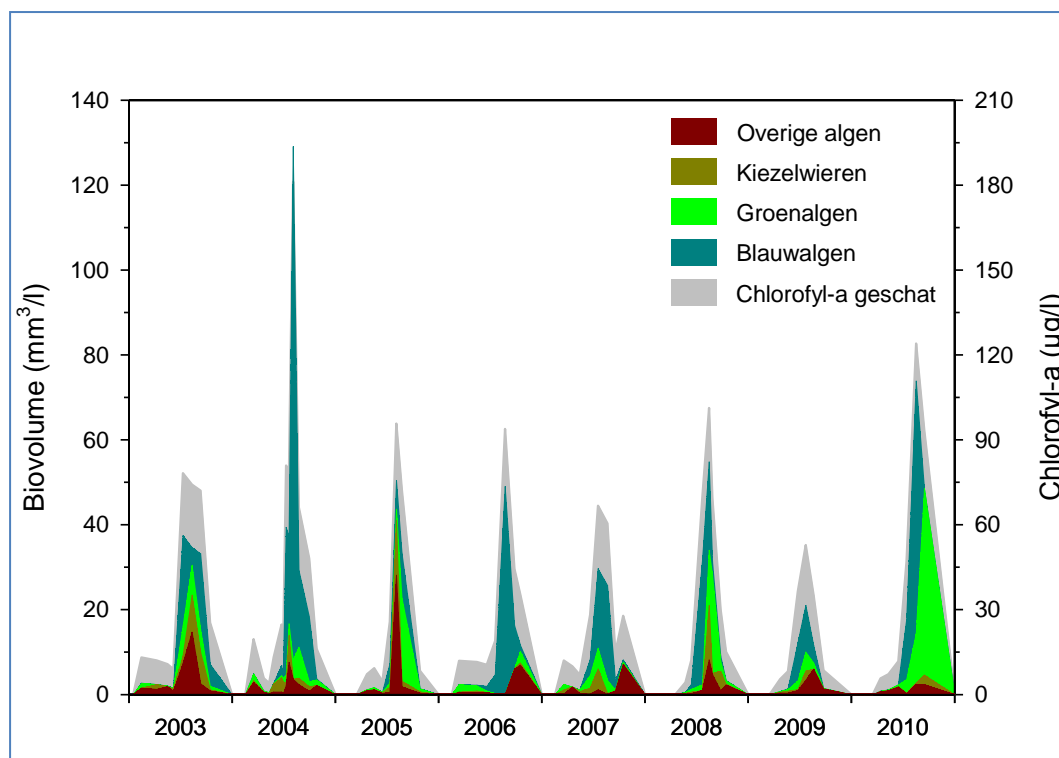
Het biovolume is relatief hoog in de maanden juli-augustus (Figuur 11). In 2003-2007 tekent zich een bescheiden voorjaarspiek af in februari-maart. Deze is gemist in de meest recente jaren waarin pas vanaf april of mei bemonsterd is. De biovolume pieken in de zomer zijn heel scherp. Bij een bemonsteringsfrequentie van hooguit eens in de drie weken kunnen de 'echte' pieken gemakkelijk gemist worden. Hierdoor kunnen jaarlijkse verschillen ontstaan in de maximale hoeveelheid fytoplankton, die niets te maken hebben met het functioneren van de planktongemeenschap. Het verloop in 2003 en 2007 bijvoorbeeld, doet vermoeden dat de grootste blauwalgenpiek in deze jaren gemist is. Het uit het biovolume geschatte, zomergemiddelde gehalte van chlorofyl-a ligt in de meeste jaren tussen 30 en 50 $\mu\text{g/l}$.

Globale samenstelling

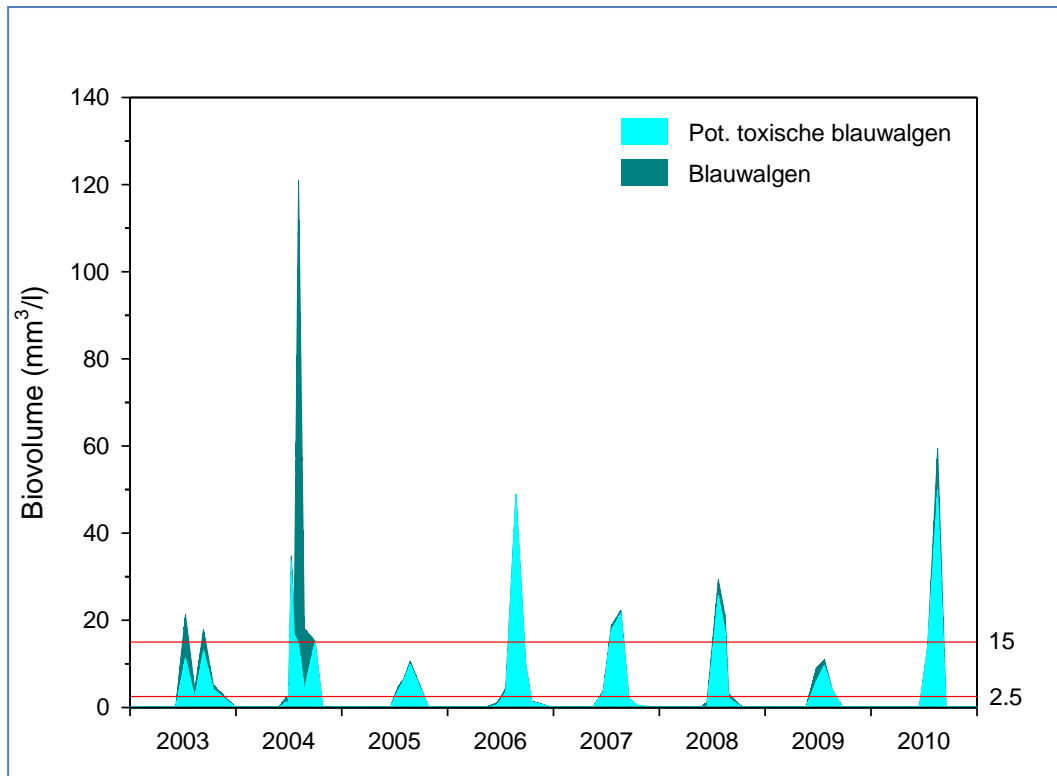
Het biovolume-aandeel van de verschillende hoofdgroepen toont verschillen van jaar tot jaar (Figuur 11). In 2004, 2006 en 2007 hebben blauwalgen een groot aandeel in de zomerse algenbiomassa. In de andere jaren is dat aandeel minder en treden algen uit de groepen groenalgen, kiezelwieren of overige algen meer op de voorgrond.

Potentieel toxische blauwalgen

In de meeste jaren bestaat de groep blauwalgen voor het overgrote deel uit potentieel toxische blauwalgen (Figuur 12). Alleen in 2004 domineerde kortstondig een niet als toxicus bekend staande blauwalgsoort, *Pseudanabaena galeata*. Dit is geen echte planktonsoort, maar een die zich ontwikkelt op de bodem of in het aangroei van waterplanten. Figuur 12 laat tevens zien dat de hoeveelheid potentieel toxische blauwalgen elk jaar de grens van $2,5 \text{ mm}^3/\text{l}$ overschrijdt. Voor oppervlaktewater met een zwemwaterfunctie betekent dit Risiconiveau 1. In de meeste jaren wordt ook de grens van $15 \text{ mm}^3/\text{l}$ overschreden, Risiconiveau 2, wat aanleiding kan zijn voor een negatief zwemadvies.

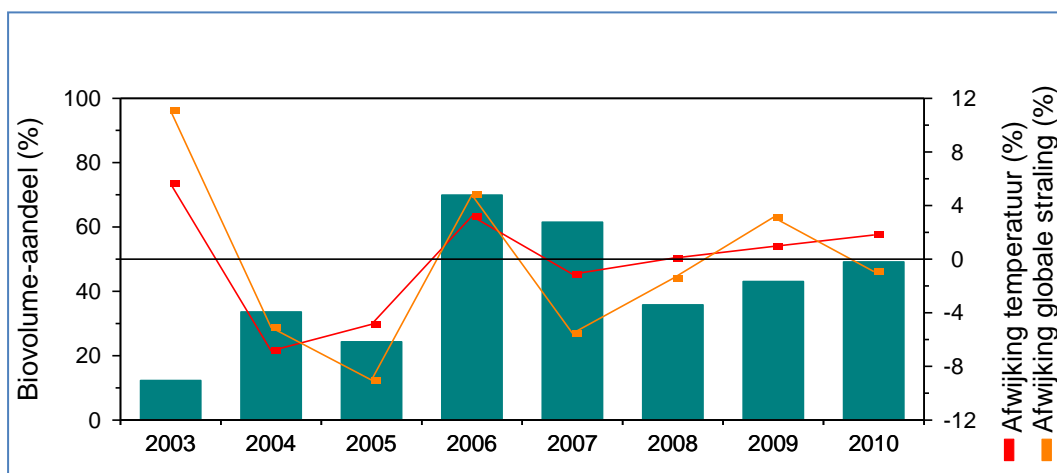


Figuur 11 Verloop van het biovolume van fytoplankton, met de bijdrage van de vier algenhoofdgroepen en het hieruit geschatte gehalte chlorofyl-a.



Figuur 12 Biovolume van blauwalgen in 't Bovenwater, met onderscheid tussen potentieel toxische en niet-toxische; de rode lijnen geven de risiconiveaus aan volgens het huidige Blauwalgenprotocol 2012 (zie tekst voor toelichting).

Het gemiddelde biovolume-aandeel van potentieel toxische blauwalgen in de maanden juni-augustus, varieert van 12% in 2003, tot 70% in 2006 (Figuur 13). Er lijkt een verband te zijn tussen dit biovolume-aandeel en de procentuele afwijking in de mediane luchttemperatuur en globale instraling over juni-augustus, ten opzichte van hun gemiddelde over 2003-2010. Bij warm weer en veel zonlicht zijn er dus relatief meer blauwalgen (ten opzichte van de totale hoeveelheid algen). Alleen het jaar 2003 vormt een bijzondere uitzondering.



Figuur 13 Biovolume-aandeel van potentieel toxische blauwalgen met de procentuele afwijking van mediane luchttemperatuur en instraling over juli-augustus, ten opzichte van het gemiddelde.

In 't Bovenwater zijn soorten uit het geslacht *Anabaena* verreweg het meest betrokken bij normoverschrijdende blauwalgbloeien. Van de 24 bloeien die tussen 2003 en 2010 kwamen er 17 op het conto van dit geslacht. Van de andere zeven werden er twee alleen door *Planktothrix* veroorzaakt, één alleen door *Microcystis* en vier door een combinatie van genera.

Over de onderzoeksperiode zijn er 20 monsters (83%) waarin *Anabaena* meer dan 2,5 mm³/l bereikte (Tabel 6). Het gemiddelde biovolume-aandeel van *Anabaena* over de 24 waargenomen bloeien bedraagt 77%. Op de tweede en derde plaats komen *Planktothrix* en *Microcystis*. Beide bereikten drie keer een biovolume van meer dan 2,5 mm³/l, *Planktothrix* in 2003 en 2004, *Microcystis* in 2006, 2007 en 2008.

Er zijn enkele belangrijke ecofysiologische verschillen tussen deze drie genera. *Planktothrix* overwintert in de waterkolom, *Anabaena* en *Microcystis* overwinteren op het sediment als respectievelijk sporen en rustcellen. *Planktothrix* kan zeer efficiënt omgaan met gebrek aan licht en kan goed tegen turbulentie. *Anabaena* en *Microcystis* hebben veel licht nodig en kunnen slecht tegen menging. Beide soorten voeren een actieve, dagelijkse verticale migratie uit en kunnen drijfslagen vormen, die door de wind naar de oever geblazen kunnen worden. *Planktothrix* kan zijn drijfvermogen ook reguleren, maar vormt geen drijfslagen. Wel kan een drijfslag ontstaan door opwaaiing van een bloei naar ondiep water. Alleen *Anabaena* is in staat tot fixatie van moleculaire stikstof.

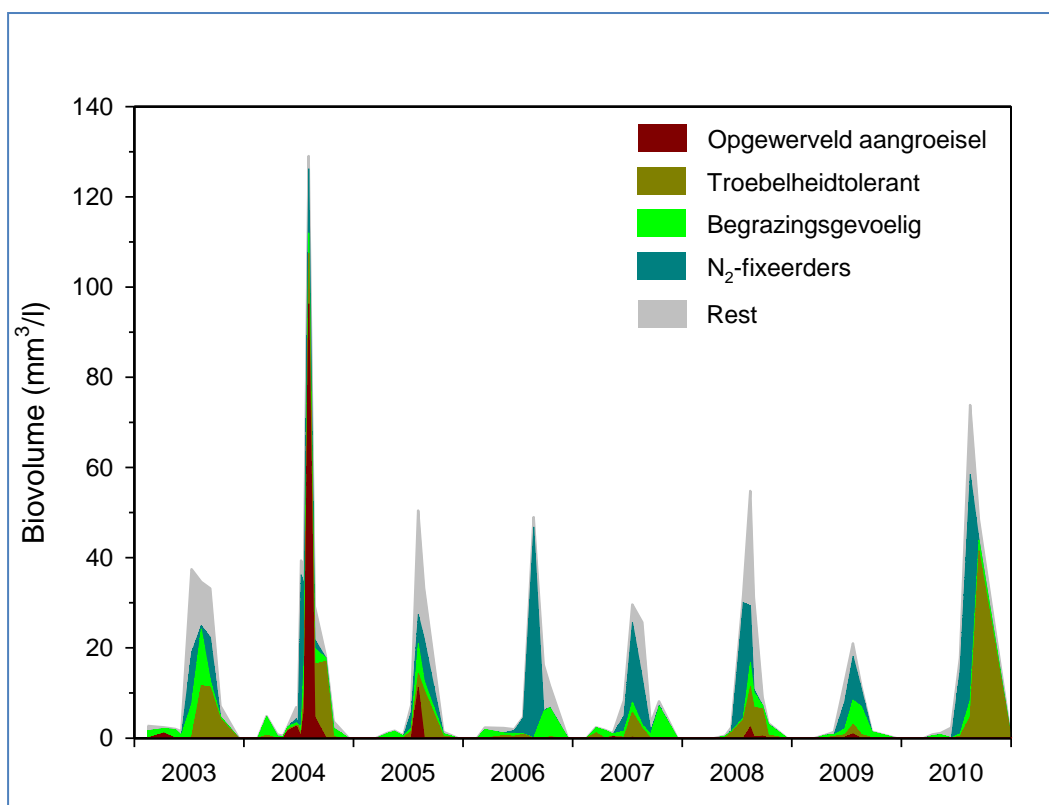
Tabel 6 Bijdrage van potentieel toxische geslachten aan blauwalgbiomassa's van meer dan 2,5 mm³/l.

Geslacht	Gemiddeld biovolume-aandeel	Frequentie > 2,5	
		Aantal	%
<i>Anabaena</i>	77	20	83
<i>Anabaenopsis</i>	1	0	0
<i>Aphanizomenon</i>	2	0	0
<i>Microcystis</i>	8	3	13
<i>Planktothrix</i>	12	3	13

Functionele groepen

Over de periode 2003-2010 kunnen we vijf categorieën van functionele groepen onderscheiden, met een gemiddeld biovolume van meer dan 1 mm³/l (Tabel 7). De temporele ontwikkeling van deze categorieën is weergegeven in Figuur 14.

Een gemeenschappelijk kenmerk van vrijwel alle in 't Bovenwater belangrijke functionele groepen, is hun voorkeur voor eutrofe tot geëutrofiëerde, ondiepe, goed gemengde wateren. De meeste tolereren lichttekort, maar zijn gevoelig voor nutriëntentekort of begrazing. Een uitzondering vormt de groep van stikstof-fixeerders (H1), die zowel N- als C-tekort tolereert, maar gevoelig is voor lichttekort.



Figuur 14 Biovolume van het fytoplankton in 't Bovenwater, met onderscheid tussen categorieën van functionele groepen (zie ook Tabel 7).

Fixeerders van moleculaire stikstof (hier *Anabaena*) zijn een jaarlijks terugkerend fenomeen in 't Bovenwater (Figuur 14). Sinds 2006 lijkt hun biovolume-aandeel wat groter dan in eerdere jaren. Een tweede belangrijke categorie wordt gevormd door soorten die gedijen in troebel water. In 't Bovenwater gaat het vooral om chlorococcale groenalgen, zoals *Coelastrum* en *Scenedesmus*. Op momenten dat deze categorie domineert, gaat dit ten koste van het biovolume-aandeel van de stikstof-fixeerders (vergelijk 2003, 2005 en 2010 met 2006-2009). Dit onderstreept het belang van lichtklimaat en turbulentie als sturende factor voor de soortensamenstelling. De categorie begrazingsgevoelige soorten bestaat voor het grootste deel uit flagellaten uit de groep Cryptophyceae, met name *Cryptomonas* (functionele groep Y in Tabel 7). Dit zijn soorten die in uiteenlopende watertypen voorkomen, maar in het algemeen gevoelig zijn voor begrazing. Door hun beweeglijkheid kunnen zij zich goed handhaven in wateren die troebel zijn, of dicht bedekt zijn met waterplanten. Ook *Anabaena* heeft hier een voordeel, door zijn vermogen tot verticale migratie. Niet beweeglijke algen sedimenteren tussen de waterplanten en blijven daar doordat waterplanten de windgeïnduceerde resuspensie verhinderen. Mogelijk behaalt *Anabaena* ook in 't Bovenwater voordeel uit zijn vermogen tot fixatie van moleculaire stikstof. Lage gehalten van anorganische stikstof zijn 's zomers gebruikelijk in ondiepe plassen met waterplanten, als gevolg van opname van ammonium en nitraat door waterplanten en algen en afbraak door denitrificatie. In een streven naar reductie van de biomassa van deze blauwalgen heeft sturen op stikstof echter geen zin, maar moeten we ons richten op fosfaat.

Tabel 7

Qua biovolume meest belangrijke functionele groepen in 't Bovenwater, gegroepeerd als in Figuur 14 en binnen de groep op volgorde van gemiddeld biovolume-aandeel; groepen met een gemiddeld biovolume > 1 mm³/l zijn onderstreept

Groep	Habitatkeuze	Toleranties	Gevoeligheden	Voorbeeldtaxa
Opgewervelde bodemalgen				
<u>MP</u>	Door regelmatige opwerveling troebele, ondiepe meren	Lichttekort		Benthische kiezelwieren, blauwalgen, groenalgen e.a.
Troebelheidtolerant				
<u>J</u>	Ondiepe, geëutrofiëerde meren en rivieren	Lichttekort	Sedimentatie naar de bodem	<i>Coelastrum, Pediastrum, Scenedesmus</i>
S1	Gemengde, troebele waterlagen	Sterk lichttekort, begrazing	Uitspoeling	<i>Limnothrix, Planktotrix agardhii</i>
C	Gemengde, eutrofe, kleine tot middelgrote meren	Lichttekort, C-tekort	Si-tekort, stratificatie	<i>Asterionella formosa, Diatoma tenuis</i>
D	Ondiepe, geëutrofiëerde, troebele meren en rivieren	Uitspoeling, lichttekort	Nutriënten-tekort	<i>Stephanodiscus hantzschii, Skeletonema</i>
Begrazingsgevoelig				
<u>Y</u>	Kleine, geëutrofiëerde meren	Lichttekort	Begrazing	<i>Cryptomonas</i>
X1	Ondiepe, geëutrofiëerde, gemengde waterlagen	Stratificatie	Nutriënten-tekort, begrazing	<i>Crucigenia, Lagerheima, Monoraphidium, Tetrastrum</i>
X2	Ondiepe, meso-eutrofe, heldere, gemengde waterlagen	Stratificatie	Menging, begrazing	<i>Chrysochromulina, Plagioselmis, Rhodomonas</i>
Stikstof-fixeerdere				
<u>H1</u>	Stikstoffixerende blauwalgen van eutrofe meren	N-tekort, C-tekort, begrazing	Menging, P-tekort, lichttekort	<i>Anabaena p.p. Aphanizomenon</i>
Restgroep				
<u>5</u>	Niet in een groep in te delen; hogere taxonomische niveaus, onbekende soorten			
M	Eutrofe tot hypertrofe plassen en meren	Hoge instraling	Doorspoeling, lichttekort	<i>Microcystis</i>
F	Heldere, diep gemengde, meso- tot eutrofe meren	Nutriëntentekort	CO ₂ -tekort, hoge troebelheid	<i>Coenochloris, Oocystis, Sphaerocystis</i>

Ten slotte treedt nu en dan een piek op van perifytische algen (algen uit het aangroei van waterplanten of sediment). De eerder genoemde piek van *Pseudanabaena galeata* in 2004 is het meest opvallende voorbeeld. Het kleinere piekje in 2005 bestond hoofdzakelijk uit het kiezelwier *Cocconeis placentula*, die normaal gesproken vastzit op waterplanten. Het optreden in het plankton van deze categorie algen, is vermoedelijk het gevolg van opwerveling en/of maaien.

BIJLAGE 4. BEREKENING WATERBALANS

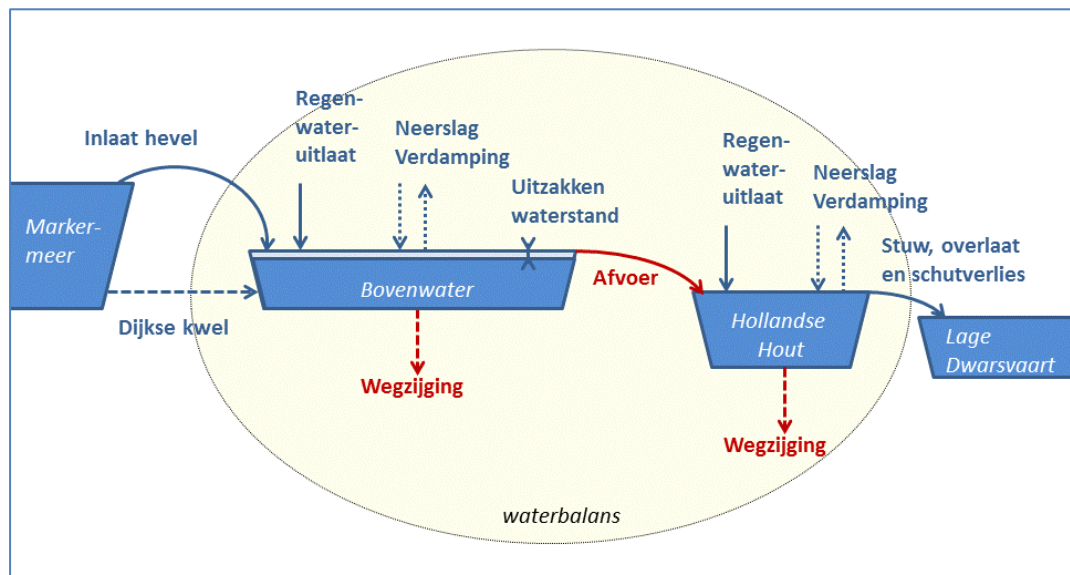
De waterbalans wordt uitgerekend voor zowel 't Bovenwater als het Hollandse Hout. Dit heeft twee redenen:

1. Reductie van de fosfaatbelasting kan ook via het waterbeheer van het Hollandse Hout bereikt worden.
2. De hoeveelheid water die van 't Bovenwater naar het Hollandse Hout stroomt, is niet bekend, maar wel de hoeveelheid water die van het Hollandse Hout wordt afgevoerd. Het combineren van beide wateren levert dus een rekentechnisch voordeel op.

De verschillende waterstromen zijn schematisch in Figuur 15 weergegeven. In deze figuur zijn afmetingen niet op schaal en de onderlinge hoogtes zijn slechts indicatief weergegeven. Het doel van deze figuur is uitsluitend de waterstromen te visualiseren. Over de waterstanden is een aparte notitie geschreven.

De waterposten zijn:

- Inlaat via een hevel van water uit het Markermeer naar 't Bovenwater.
- Afvoer via een stuw van 't Bovenwater naar het Hollandse Hout.
- Afvoer via een stuw, een overlaat en via een sluis (schutverlies) van het Hollandse Hout naar de Lage Dwarsvaart.
- Regenwateruitlaten bebouwd gebied.
- Wijziging in waterstand (uitzakken) van 't Bovenwater.
- Neerslag en verdamping (Bovenwater en Hollandse Hout).
- Dijkse kwel van het Markermeer naar 't Bovenwater
- Wegzijing (Bovenwater en Hollandse Hout).



Figuur 15 Waterposten van de waterbalans Bovenwater en Hollandse Hout. De rood gemarkeerde posten zijn de sluitposten in de balans.

De verschillende posten worden hieronder besproken:

- Inlaat hevel. In een warme en droge zomer wordt in totaal circa 750.000 m³ ingelaten (gegevens waterschap).
- Afvoer Bovenwater naar Hollandse Hout. Deze hoeveelheid is niet bekend en wordt aan het eind van de berekening als sluitpost uitgerekend.
- Afvoer via stuw, overlaat en sluis van Hollandse Hout naar de Lage Dwarsvaart. In een droge zomer vindt er geen afvoer via de stuw of de overlaat plaats. Er vinden circa 800 schuttingen in een zomerhalfjaar plaats. Per schutting wordt 125 m³ water afgevoerd. Het totale schutverlies in het zomerhalfjaar bedraagt derhalve 100.000 m³.
- Wegzijing. Om te bepalen of er overal sprake is van wegzijing of voor een deel ook kwel, zijn in de nazomer van 2012 drie peilbuizen geplaatst. Gegevens daarvan zijn gepresenteerd in Bijlage 2. De conclusie is, dat over het hele gebied van 't Bovenwater wegzijing plaatsvindt. Dit zal vrijwel zeker ook het geval zijn bij het Hollandse Hout. De wegzijing is als sluitpost van de balans berekend.
- Dijkse kwel. Vermoedelijk is er ondanks de wegzijing (verticaal gerichte grondwaterstroming) tegelijk ook sprake van dijkse kwel (horizontale stroming door het lichaam van de Oostvaardersdijk). De grootte van de dijkse kwel is bepaald in een studie van IWACO en bedraagt 830 m³ per kilometer dijk en per dag. De lengte van de Markermeerdijk langs 't Bovenwater is ongeveer een halve kilometer. De hoeveelheid dijkse kwel in het zomerhalfjaar komt dan neer op 77.500 m³.
- Neerslag. De hoeveelheid neerslag is berekend door de etmaalsommen van het KNWI-station Lelystad van de periode 1 april tot en met 31 september te middelen. Dit komt neer op 1,65 mm/dag. Door dit te vermenigvuldigen met het aantal dagen in het zomerhalfjaar en met het oppervlak ten 't Bovenwater (135 ha) of het Hollandse Hout (13 ha), wordt de totale hoeveelheid neerslag gevonden. Voor 't Bovenwater is dat 406.000 m³ en voor het Hollandse Hout 39.000 m³.
- Verdamping. Hiervoor zijn de gegevens van de referentie-gewasverdamping van het KNMI-station in Lelystad gebruikt. Ook hier zijn de etmaalsommen van de periode 1 april – 31 september 2003 gemiddeld. Dit gemiddelde bedraagt 3,55 mm/dag. De verdamping van open water is echter groter dan de gewasverdamping. Volgens Droogers (2009) kan als vuistregel de verdamping van open water berekend worden door de gewasverdamping met een factor 1,25 te vermenigvuldigen. Toepassing van deze vuistregel lever een totale hoeveelheid verdamping van 't Bovenwater van 874.000 m³ en van het Hollandse Hout van 84.000 m³, beide voor het zomerhalfjaar.
- Uitzakken waterstand. Aan het eind van de winter is de waterstand van 't Bovenwater 3,00 m –NAP. Gedurende de zomer zakt deze waterstand uit tot 3,05 m –NAP. Als deze waterstand wordt bereikt, slaat de hevel aan. Over het zomerhalfjaar als geheel betekent het uitzakken van de waterstand met 5 cm dat 68.000 m³ water (oppervlak Bovenwater: 35 ha) niet hoeft worden ingelaten.

De berekening van de waterbalans is als volgt voltooid:

De enige ontbrekende posten zijn de wegzijging van beide meren en de afvoer van 't Bovenwater naar het Hollandse Hout. Dit zijn de rode pijlen in Figuur 15. Als beide wateren echter samen worden genomen, is de afvoer van Bovenwater naar Hollandse Hout niet meer van belang. De gezamenlijke wegzijging uit beide meren is dan de enige ontbrekende post, en dit is de sluitpost van de gezamenlijke balans. Deze gezamenlijke wegzijging is vervolgens naar rato van het oppervlak over beide wateren verdeeld. Op dat moment kunnen aparte balansen van 't Bovenwater en het Hollandse Hout gemaakt worden, waarbij de afvoer van Bovenwater naar Hollandse Hout de sluitpost is. Het resultaat van deze berekeningen is weergegeven in Tabel 8 en Tabel 9.

Tabel 8 Waterbalans Bovenwater

Aanvoerende posten in 1000 m ³ per zomerhalfjaar		Afvoerende posten in 1000 m ³ per zomerhalfjaar	
Inlaat hevel	750	Afvoer naar Hollandse Hout	76
Regenwateruitlaten	93	Uitzakken waterstand	-68
Dijkse kwel	78	Wegzijging	445
Neerslag	406	Verdamping	874
Totaal	1.234	Totaal	1.237

Tabel 9 Waterbalans Holandse Hout

Aanvoerende posten in 1000 m ³ per zomerhalfjaar		Afvoerende posten in 1000 m ³ per zomerhalfjaar	
Aanvoer uit Bovenwater	76	Schutverlies	100
Neerslag	39	Wegzijging	43
Regenwateruitlaten	111	Verdamping	84
Totaal	227	Totaal	227

BIJLAGE 5. BEREKENING FOSFAATBELASTING

Bronnen via inkomende waterstromen

De grootte van de inkomende waterstromen zijn in de waterbalans berekend. Door aan deze waterstromen fosfaatconcentraties te verbinden, kan de fosfaatbelasting via de waterstromen berekend worden. De fosfaatconcentraties in de aanvoerende waterstromen zijn:

- Inlaat hevel: concentratie Markermeerwater. Hiervoor zijn de gegevens van 2009 t/m 2010 gebruikt (ARCADIS, 2011). Het gemiddelde bedraagt: 0,11 mg P/l.
- Regenwateruitlaten. Hiervoor is de Regenwaterdatabase van de STOWA gebruikt. Geselecteerd zijn de meetgegevens van een regenwaterriolering en van bebouwd gebied. De gemiddelde concentratie bedraagt: 0,26 mg P/l.
- Dijkse kwel. Aangenomen is, dat de kwaliteit van de dijkse kwel gelijk is aan de kwaliteit van het Markermeerwater, dus 0,10 mg P/l.
- Neerslag. Hiervoor is de waarde uit ARCADIS 2003 gebruikt: 0,018 mg P/l.

Watervogels

In perioden met helder water is de aanwezigheid van ca 120 zwanen gesignaleerd. Daarnaast komen regelmatig ganzen op het meer voor. Beide soorten verzamelen hun voedsel (deels) buiten 't Bovenwater en vormen via hun uitwerpselen dus een externe bron van fosfaat. Eenden en meerkoeten die ook op het water voorkomen, eten op 't Bovenwater en vormen dus geen (externe) fosfaatbron.

Voor de berekening van de belasting via uitwerpselen (guanotrofie) is van een *worst case* uitgegaan, namelijk dat gedurende de hele zomer 120 zwanen aanwezig zijn. Voor de belasting is gebruik gemaakt van het programma Waterbirds van het NIOO gebruikt. In dit programma wordt de belasting van ca. 40 verschillende watervogels gegeven. Rekening wordt gehouden met het fouragegedrag, dat per seizoen kan verschillen, en het type voedsel. Geselecteerd is de knobbelzwaan en het zomerseizoen. Het voedsel bestaat uit gras. De gemiddelde belasting per vogel per dag is: 0,165 g P. Voor 120 zwanen komt dit neer op 3,6 kg P voor het hele zomerhalfjaar.

Maaisel

Zoals in paragraaf 2.3 is aangegeven, werd tot dit jaar het maaisel niet direct verzameld en afgevoerd. Het maaisel gaat drijven en waait bijeen op de oevers. Voor een deel wordt dit later met de maaiboot (met hark) verzameld en op depots op de kant gebracht, maar een deel blijft ook tussen het riet hangen, waar het moeilijk of niet verwijderd kan worden. Dit maaisel gaat uiteindelijk verteren waarbij de opgeslagen nutriënten (waaronder fosfaat) vrijkomen en in het water terecht komen. Dit levert dus een extra belasting met fosfaat.

In de zomer van 2012 is geconstateerd dat ca. 64 m³ maaisel op de kant ligt. Dit getal is tot stand gekomen door de afmetingen van de diverse hopen maaisel te meten, het volume daarvan te berekenen en de gevonden waarden bij elkaar op te tellen. De

nauwkeurigheid van de metingen is niet erg hoog. Bovendien ligt een gedeelte van dit maaisel op de depots, waar het later wordt weggehaald. Anderzijds vindt het maaien ook nog na deze datum plaats, waardoor de hoeveelheid maaisel verder toeneemt. De hoeveelheid maaisel kan dus niet nauwkeurig vastgesteld worden. Door het getal verder af te ronden naar bijvoorbeeld 65, 60, 50 of 100 m³ daalt de nauwkeurigheid echter nog meer. Daarom is de berekening uitgevoerd met een hoeveelheid van 64 m³ maaisel. Bedacht moet worden dat de uitkomst een brede betrouwbaarheidsmarge heeft.

Voor de fosfaatconcentratie in het maaisel zijn meetgegevens van de Radboud Universiteit in Nijmegen gebruikt. In het kader van het KRW-innovatieproject Baggernut zijn er allerlei metingen verricht, waaronder fosfaatconcentraties in verschillende soorten waterplanten. Het resultaat op hoofdlijnen is gepubliceerd (Van den Berg et. Al, 2012), maar van L. van de Berg zijn ook de meetgegevens zelf ontvangen. Uit deze gegevens is de gemiddelde fosfaatconcentratie berekend van *Elodea nutalii*, *Hottonia palustris*, *Myriophyllum spicatum* en *Lemna minor* van verschillende locaties. Het gemiddelde bedraagt 16,4 mmol fosfor per kilogram versgewicht. Dit komt neer op een concentratie van 507 mg P/kg versgewicht. Voor het maaisel is een soortelijk gewicht van 1 kg/dm³ aangehouden. Voor 64 m³ maaisel is de hoeveelheid fosfaat dus 32 kg P. Aangenomen is dat al dit fosfaat in het water terecht komt.

Nalevering fosfaat uit de bodem.

Volgens Jeroen Geurts (KUN) kunnen waterplanten fosfaat uit de bodem naar de waterfase brengen. Daarnaast kan tussen dichte vegetaties (zoals bij de kranswieren op 't Bovenwater) zuurstofloosheid dicht bij de bodem optreden, waardoor fosfaat uit de bodem kan vrijkomen. Of dit bij 't Bovenwater ook daadwerkelijk voorkomt, is niet onderzocht. De post is niet in de balans opgenomen.

BIJLAGE 6. BEREKENING KRITISCHE P-BELASTING

In de theorie over de ecologie van zoete, ondiepe Nederlandse meren zijn (ten minste) twee situaties mogelijk: een situatie met dominantie van waterplanten en helder water, en een situatie met dominantie van algen en troebel water. Het ecosysteem kan van de ene toestand in de andere omslaan. De fosfaatbelasting speelt daarbij een belangrijke rol.

In een worst case situatie is voor 't Bovenwater een fosfaatbelasting van 0,6 mg P/m²/dag berekend (zie paragraaf 3.3). Om een idee te krijgen voor de ecologische betekenis van deze belasting is de kritische fosfaatbelasting uitgerekend voor de omslag van helder naar troebel water en voor de omslag troebel naar helder water. Hiervoor is gebruik gemaakt van metamodel PCLake, dat via de STOWA online beschikbaar wordt gesteld. Er is ook nog contact geweest met de auteur van dit metamodel, Sebastiaan Schep (Witteveen + Bos) om na te vragen of berekening met PCLake zelf mogelijk een hogere nauwkeurigheid zou opleveren. Dit zou met de eigenschappen van 't Bovenwater echter niet het geval zijn. De betrouwbaarheid zou hooguit met 10% verhoogd kunnen worden. Daarom zijn voor deze studie alleen de resultaten van het metamodel PCLake gebuikt.

De randvoorwaarden die in metamodel PCLake zijn ingevoerd, zijn:

- gemiddelde diepte: 0,13 meter;
- strijklengte: 1000 m;
- debiet: 4 mm/dag;
- relatief areaal moeraszone (inunderende oevers): 0%;
- achtergrondextinctie water: 0,5 m.

De uitkomsten van het metamodel zijn:

- verblijftijd: 325 dagen;
- kritische belasting omslag helder naar troebel: 1,38 mg P/m²/d;
- Kritische belasting omslag troebel naar helder: 0,11 mg P/m²/d.

De huidige fosfaatbelasting zit dus tussen beide kritische belastingen in. Uit ervaring weten we dat zonder maaien of met beperkt maaien 't Bovenwater gedomineerd wordt door waterplanten en helder water heeft. Deze situatie kan met de huidige fosfaatbelasting naar verwachting duurzaam in stand blijven.