

**Evaluatie van de effecten van maatregelen genomen in het kader van de
eutrofiëringbestrijding in fortgracht Ruigenhoek 1997-2006.**

Conclusies (deel)onderzoeken

Peter Heuts

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

DM 819993



Colofon

Auteur: P.G.M. Heuts,
Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden,
Postbus 550,
3990 GJ Houten.

Heuts.pgm@hdsr.nl

24-3-2009 Versie 1.3 Definitief.

Inhoudsopgave

Samenvatting

blz. 4

Aanleiding

blz. 5

1. Het onderzoek

blz. 6

Inleiding

Problematiek

Doel

Maatregelen

Kanttekening

Calamiteiten

Leeswijzer

2. Synthese

blz. 10

Doel van het onderzoek

Resultaten monitoring

Invloed calamiteiten

Oorzaken

Conclusies

Verkenning opties

Doorkijk naar andere fortgrachten

Wat gaan we doen

Advies

Financiën

Literatuur

blz. 16

Bijlage 1: Het onderzoek

blz. 17

Monitoring biologische en fysisch chemische parameters

Onderzoek visstand

Waterbalans Ruigenhoek

Evaluatie gegevens en literatuuronderzoek met betrekking tot blauwwieren

Evaluatie gegevens met het accent op de watervegetatie

Samenvatting

Problemen ten aanzien van de zwemwaterkwaliteit in fortgracht Ruigenhoek (Zwembad 'de Kikker') hebben ertoe geleid dat een onderzoek is gestart naar maatregelen om de waterkwaliteit te verbeteren. Het waterschap heeft de nulsituatie vastgelegd en is overgegaan tot het nemen van maatregelen. De maatregelen zijn baggeren, actief biologisch beheer en hydrologisch isoleren van de fortgracht om inlaat van nutriëntrijk landbouwwater te voorkomen. Daarna is het project 7 jaar gevolgd om de effecten van de maatregelen te kunnen vastleggen. Twee onderzoeksinstituten hebben de resultaten geanalyseerd. De maatregelen hebben niet geleid tot het gewenste resultaat. Waterplanten zijn niet tot ontwikkeling gekomen. Belangrijkste reden is de morfometrie van de plas. Er zijn weinig ondiepe plekken waar de waterplanten tot ontwikkeling kunnen komen. Het gewenste stabiele heldere en plantenrijke systeem is niet bereikt door het achterwege blijven van een goed ontwikkelde onderwatervegetatie. Om de problemen met blauwwieren te voorkomen wordt voorgesteld om de verblijftijd van de fortgracht te verkleinen. Dit kan verwezenlijkt worden door de aanleg van een rondpompsysteem te realiseren met een deel van de polder dat een goede waterkwaliteit heeft.

Aanleiding

Jarenlang is er onderzoek uitgevoerd in fortgracht Ruigenhoek. De toenmalige waterbeheerder, de provincie Utrecht, heeft dit onderzoek geïnitieerd om inzicht te krijgen in de problemen met betrekking tot de zwemwaterkwaliteit. Regelmatig werd de zwemwaternorm (1m) van het doorzicht niet gehaald en werden drijflagen van giftige blauwwieren (cyanobacteriën) aangetroffen. De Stichtse Rijnlanden heeft maatregelen genomen om de waterkwaliteit te verbeteren. Deze evaluatie is bedoeld om inzicht te geven in de genomen maatregelen, de effecten daarvan en hoe we deze informatie kunnen toepassen op andere wateren in het beheergebied. Ook beschrijven we opties die nog kunnen leiden tot een verbetering van de waterkwaliteit in fortgracht Ruigenhoek. De evaluatie draagt een inhoudelijk karakter. De evaluatie is bedoeld voor zowel intern als extern gebruik.

1. Het onderzoek

Dit hoofdstuk beschrijft de aanleiding om het onderzoek uit te voeren en de problemen die zich gedurende het onderzoek voordeden.

Inleiding

In de jaren tachtig van de vorige eeuw zijn al problemen met de waterkwaliteit in de fortgracht geconstateerd. *"Vanaf 1987 is de waterkwaliteit van het zwembad de Kikker in de gracht van Fort Ruigenhoek maandelijks bemonsterd op de parameters voor openbare zweminrichtingen. Gebleken is dat er vermindering van het doorzicht optreedt door algenbloei (Microcystis drijflagen) gedurende het hele zwemseizoen. Het tegengaan van deze doorzichtvermindering vormt de kern van het waterkwaliteitsonderzoek Fortgracht Ruigenhoek"* (Hoeken 1996). Het probleem bestond onder andere uit een beperking van het doorzicht tot minder dan de zwemwaternorm (1 meter). Deze vermindering werd hoofdzakelijk veroorzaakt door groei van algen en cyanobacteriën. Vooral de cyanobacterie *Microcystis* zorgt voor drijflagen in het water. Een aantal soorten cyanobacteriën zijn in staat om giftige stoffen te produceren die in zeer kleine concentraties al schadelijk kunnen zijn voor mens en dier. Een deel van de fortgracht wordt als zwemgelegenheid gebruikt. De toenmalige waterkwaliteitsbeheerder de Provincie Utrecht is in 1987 begonnen met het maandelijks bemonsteren van het daar gelegen Zwembad De Kikker op parameters voor openbare zweminrichtingen. De provincie Utrecht heeft vervolgens een onderzoek gestart naar mogelijke maatregelen om de waterkwaliteit te verbeteren. Per 1 januari 1997 is het waterkwaliteitsbeheer overgegaan naar het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden.



Foto 1. Drijflaag in de fortgracht.

Het waterschap heeft maatregelen genomen en de effecten ervan gedurende zeven jaar bemonsterd. Dienst Landelijk Gebied, de Provincie Utrecht en Staatsbosbeheer hebben dit project financieel ondersteund.

Problematiek

Overmatige algengroei of groei van cyanobacteriën wordt veroorzaakt door een grote hoeveelheid aan beschikbare voedingsstoffen, zoals fosfaat en stikstof. Deze voedingsstoffen zijn voornamelijk afkomstig uit het nabijgelegen landbouwgebied en worden door de poldersloten aangevoerd. In de fortgracht worden deze voedingsstoffen opgenomen door algen en cyanobacteriën. Wanneer de algen afsterven, zinken ze naar de bodem waar de resten verder mineraliseren. Bladval van de omringende bomen zorgt ook voor een toename van organisch materiaal in de fortgracht. Bacteriën zorgen voor verdere afbraak van het bezonken organische materiaal. Op deze manier ontstaat na verloop van vele jaren een grote voorraad voedingsstoffen in de bodem. Deze voedingsstoffen kunnen weer naar de waterkolom diffunderen en beschikbaar komen voor groei van algen en cyanobacteriën. Daarnaast spelen de vissoorten karper en brasem een grote rol. Deze vissen zoeken hun voedsel, voornamelijk muggenlarven, in de bodem. Daarvoor happen ze bodemmateriaal op en spuwen het weer uit terwijl ze de muggenlarven er uit filteren. Daardoor wordt het water troebel en komen er voedingsstoffen vanuit de bodem versneld weer in de waterkolom. Het troebele water heeft de voorkeur van de cyanobacteriën waardoor deze extra bevoordeeld worden boven de niet schadelijke groenalgen.



Foto 2. Baggeren van de fortgracht.

Kader 1. Toxiciteit blauwwieren

Door cyanobacteriën worden toxines geproduceerd, de zogenaamde cyanotoxines. Men onderschat vaak het gezondheidsrisico dat men loopt wanneer men in contact komt met water waarin toxische cyanobacteriën zitten. Vooral in drijfslagen kunnen hoge tot zeer hoge concentraties worden aangetroffen. Een van deze toxines is Microcystine. Een zwemverbod wordt ingesteld wanneer de concentratie Microcystine hoger is dan 20 µg. l⁻¹. In februari 2008 was de fortgracht Ruigenhoek geheel bedekt met een drijfslaag van *Planktothrix agardhii*, met een zorgwekkend hoge concentratie Microcystine van meer dan 3200 µg. l⁻¹!

Regelmatig is geconstateerd dat recreanten zwemmen in water waarin cyanobacteriën voorkomen en drijfslagen te zien zijn (de Eend, de Kikker), zich niet bewust van het gezondheidsrisico dat ze lopen. Ook worden honden uitgelaten in poelen met drijfslagen. De giftigheid van Microcystine, in vergelijking met andere biotoxines, ligt tussen cobragif en strychnine. Microcystine is chemisch stabiel en goed in water oplosbaar.

In acht Europese landen zijn gezondheidsklachten bij mensen gerapporteerd (Tsjechië, Estland, Hongarije, Polen, Servië, Zweden en Groot Brittannië). Deze klachten zijn onder andere irritatie van de huid en de slijmvliezen, koorts, maag en darmklachten, ademhalingsproblemen en longproblemen. Microcystine heeft een carcinogene werking. Langdurige en regelmatige blootstelling aan een lage dosis kan mogelijk leverkanker tot gevolg hebben. Blootstelling aan microcystine en andere cyanotoxines vindt onder andere plaats door het drinken van water en via recreatie aan en in water (vissen; zwemmen; roeien etc.). Blootstelling vindt plaats via de mond of wanneer het in contact komt met de huid. In Europa zijn geen sterfgevallen bekend die te wijten zijn aan blootstelling aan cyanotoxines, buiten Europa zijn deze gevallen wel degelijk gerapporteerd.

Voorbeelden van zieke en dode dieren als gevolg van blootstelling aan cyanotoxines zijn in 17 landen van Europa (waaronder Nederland) gerapporteerd. Zowel huisdieren als wilde dieren zijn aangetast, evenals veel soorten vissen en vogels, jong en volwassen vee, schapen, paarden en honden. In Nederland zijn meldingen van sterfte van vis en watervogels gerelateerd aan het voorkomen van blauwwieren.

Doel

Het doel van het project is de waterkwaliteit te verbeteren, zodanig dat bloei van blauwwieren niet meer optreedt. Er wordt gestreefd naar een helder en plantenrijk systeem. Waterplanten concurreren met algen en blauwwieren om de voedingsstoffen in het water. Waterplanten dragen bij aan een helder en stabiel aquatisch milieu.

Maatregelen

Het waterschap heeft in 2000 drie maatregelen genomen met als doel de waterkwaliteit te verbeteren.

1. Om de aanvoer van voedingsstoffen uit het voedselrijke polderwater te voorkomen is de fortgracht hydrologisch geïsoleerd;
2. De interne belasting vanuit de voedselrijke sliblaag is aangepakt door deze te verwijderen door de fortgracht te baggeren;
3. Brasem is verwijderd en de karpers zijn tot een aanvaardbare hoeveelheid teruggebracht. Vissen die voornamelijk watervlooien eten zijn ook grotendeels verwijderd. Watervlooien filteren algen uit het water wat het doorzicht bevordert.

Om de effecten van deze maatregelen te kunnen waarnemen is een monitoringsplan opgesteld en zijn de veranderingen zeven jaar gevolgd. In eerste instantie is een vijfjarig meetprogramma opgesteld. Omdat er meerdere calamiteiten hebben plaatsgevonden is deze periode met twee jaar verlengd.

Kanttekening

Doordat de fortgracht omzoomd is door bomen is er weinig licht beschikbaar voor de ontwikkeling van waterplanten. Vooral vlak bij de oever, waar het water ondiep is en dus geschikt voor de groei van waterplanten, is de beschaduwing het sterkst.

Bovendien is er organische belasting en voedselverrijking opgetreden door bladval. Deze bladval heeft o.a. gezorgd voor een dikke sliblaag. Het regelmatig verwijderen van de baggerlaag zal noodzakelijk zijn om te voorkomen dat de fortgracht weer zal eutrofiëren.

Calamiteiten

- Staatsbosbeheer heeft in 2000 het fort verhuurd aan YMCA. Deze organisatie heeft op het fort diverse activiteiten ontplooid waardoor vele mensen langere tijd op het fort verbleven. Het huishoudelijke afvalwater werd ongezuiverd geloosd op de fortgracht;
- In 2002 zijn drijfslagen van cyanobacteriën aangetroffen en (dode) eenden die besmet waren met botulisme, daarnaast zijn ook veel karpers dood aangetroffen en verwijderd. De gracht is 10 dagen doorgespoeld met polderwater. Daarna is tijdelijk een pomp geïnstalleerd die voor het rondpompen van het water zorgde;
- In 2003 is geconstateerd dat in een aarden dam een gat is gegraven zodat voedselrijk polderwater de fortgracht in kan stromen. De aarden dam is onderdeel van de hydrologische isolatie en is zonder medeweten van het waterschap en dus illegaal opengemaakt;
- Meerdere jaren zijn drijfslagen aangetroffen en een zodanig hoog microcystinegehalte dat het zwemgedeelte is gesloten voor het publiek.

Leeswijzer

Als eerste worden in het kort de bevindingen van de verschillende onderzoeken gerapporteerd. Daarna volgt de synthese van de verzamelde informatie. Vanwege de gezondheidsrisico's wordt extra nadruk gelegd op de gevolgen van blootstelling aan toxines van cyanobacteriën.

Met behulp van de opgedane kennis en aanbevelingen en een vooruitblik "wat willen we en kunnen we nog doen".

Voor de leesbaarheid zijn geen literatuurverwijzingen opgenomen. Voor een compleet overzicht van de gebruikte literatuur raadpleegt men de desbetreffende rapporten en de literatuurlijst.

In bijlage 1 zijn samenvattingen van de voornaamste conclusies van de uitgevoerde onderzoeken opgenomen.

2. Synthese

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het jarenlange monitoren besproken en de conclusies en aanbevelingen van de onderzoeken verwerkt.

Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is inzicht krijgen in het herstel van de waterkwaliteit door het nemen van brongerichte maatregelen.

In het waterschap liggen meerdere fortgrachten en vergelijkbare (geïsoleerde) wateren waarvan de waterkwaliteit niet voldoet aan de wensen. Met deze studie is getracht inzicht te krijgen in de effecten van de maatregelen die kunnen leiden tot een verbetering van de waterkwaliteit. Met de kennis die is opgedaan met dit onderzoek is een inschatting gemaakt van de (on)mogelijkheden de waterkwaliteit in de fortgrachten “Vechten” en “Rhijnauwen” te verbeteren.

Resultaten monitoring

In de eerste jaren nadat de maatregelen (zie blz. 8) zijn genomen was een toename van het doorzicht waarneembaar. Vooral in het voorjaar zijn er heldere fases met een doorzicht tot meer dan 3 meter. In het derde jaar is er al een terugval geconstateerd en neemt het doorzicht weer af. De geleidbaarheid neemt na de ingreep af, het water is armer aan nutriënten geworden. Vooral het chloridegehalte is gestaag afgenomen wat duidt op een grotere invloed van regen- en grondwater in de fortgracht. De nutriënten zijn de laatste jaren vrij constant en bevinden zich in de buurt van de MTR-waarde.

Op enkele stekjes na zijn geen onderwaterplanten aangetroffen. Doordat de oever steil is en beschaduwde door bomen is slechts een ijle oevervegetatie aanwezig.

De meest voorkomende soorten fytoplankton zijn een groenwier en een cyanobacterie.

De dominantie tussen deze soorten wisselt met de jaren. In 1998 en 1999 zijn de cyanobacteriën dominant. Na de ingrepen in 2000 tot halverwege 2002 zijn de aantallen cyanobacteriën gereduceerd en zijn de algen sterker vertegenwoordigd dan eerder het geval was. Zomer 2002 staat bekend als het calamiteitenjaar met een enorme blauwwierbloei (cyanobacteriën), gevolgd door een jaar relatief arm aan cyanobacteriën. Eind 2004 tot en met 2005 krijgen de cyanobacteriën weer de overhand.

Het zooplankton bestaat voornamelijk uit raderdiertjes en larven van de roeipootkreeft.

Daarnaast worden watervlooien aangetroffen die thuishoren in voedselrijke wateren.

De visstand is gereduceerd. De samenstelling van de visstand in 2006 is beoordeeld als de goede ecologische toestand (score 0,75; M11 maatlat KRW).

Invloed calamiteiten

Ongerioleerde lozing 2001-2002: Een voorzichtige schatting van de belasting van P-totaal in anderhalf jaar is ongeveer 8 kg en van Kj-N ca 57 kg. Het geschatte jaarverbruik op basis van watermeterstanden zou betekenen dat er meer personen aanwezig zijn geweest of een hoger waterverbruik per persoon heeft plaatsgevonden. Dat zou duiden op een hogere belasting. Nadat de ongerioleerde lozing van huishoudelijk afvalwater werd stopgezet is in het jaar 2003 opnieuw geconstateerd dat er grote hoeveelheden nutriënten in de fortgracht waren gekomen. Nu was de aarden wal achter de kleedhokjes doorgegraven zodat voedselrijk polderwater twee maanden lang ongehinderd de fortgracht kon binnenstromen. Met behulp van de peilregistraties is vastgesteld dat ca. 8500m³ polderwater in de fortgracht is gestroomd met daarin ongeveer 0,5 kg totaal fosfaat en 0,17 kg beschikbaar fosfaat, 12 kg totaal stikstof waarvan 1 kg beschikbaar stikstof en 323 kg sulfaat. Vooral sulfaat in inlaatwater zorgt voor interne eutrofiering doordat het sulfaat het aan ijzer gebonden fosfaat vervangt in de bodem. Het vrijgekomen fosfaat diffundeert in de waterkolom en is weer beschikbaar voor de algen en blauwwieren.

Oorzaken

De belangrijkste oorzaak voor het achterwege blijven van een stabiel en helder systeem is het ontbreken van waterplanten. Chemisch gezien is er geen reden voor het ontbreken van

waterplanten in de fortgracht. Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat er sprake is van sulfidentoxiciteit of ammoniakvergiftiging. In de waterbodem zijn normaal gesproken voldoende kiemkrachtige zaden aanwezig om tot ontwikkeling te kunnen komen. Door het baggeren kan de zaadbank verwijderd zijn. Echter met watervogels en andere dieren komen weer zaden in de fortgracht terecht. Ook tijdens het spoelen van de fortgracht en de illegale inlaat van water zijn waarschijnlijk veel zaden aangevoerd.

Als belangrijkste oorzaak voor het wegblijven van de onderwatervegetatie wordt het slechte lichtklimaat genoemd in combinatie met de morfometrie van de plas. Het lichtklimaat wordt sterk beperkt door fytoplankton (algen en cyanobacteriën). De bodem van de fortgracht is ijzerarm en niet erg kalkrijk. Daarom zijn de mogelijkheden om fosfaat te binden beperkt en is de fortgracht gevoelig voor bemesting. Aanvoer van fosfaatrijk en sulfaatrijk oppervlaktewater heeft daarom geleid tot vermisting.

De morfometrie van de fortgracht kenmerkt zich door steile oevers en een gemiddelde diepte die ligt tussen de 4 en 4,5 meter, waar het zonlicht niet kan doordringen. Doordat de oevers begroeid zijn met bomen worden de ondiepere delen ook nog eens beschaduwd.

De groei en bloei van fytoplankton is mogelijk doordat er voldoende nutriënten of voedingsstoffen in de fortgracht aanwezig zijn. Bronnen van nutriënten zijn onder andere de ongerioleerde lozingen in de fortgracht; het opzettelijk inlaten van polderwater; bladval en afspoelen van organische stof vanaf de oever. Vooral de cyanobacterie *Planktothrix agardhii* gedijt goed bij dit lichtklimaat. De cyanobacterie heeft veel voedingsstoffen nodig om tot ontwikkeling te komen, maar is dan in staat om bij lage concentraties voedingsstoffen stand te houden.

Conclusies

- De samenstelling van de visstand in 2006 heeft geen nadelige invloed op de waterkwaliteit.
- Cyanobacteriën hebben een hoge concentraties stikstof en fosfaat nodig om veel biomassa te kunnen bereiken, maar zijn goed in staat zich bij lage nutriëntenconcentraties in stand te houden. Daarom heeft geen verbetering plaats gevonden ten aanzien van de groei van fytoplankton.
- Hoge temperaturen en een stabiele waterkolom op zomerse dagen werken de ontwikkeling van drijfslagen van toxische cyanobacteriën, zoals bv. *Microcystis*, in de fortgracht in de hand.
- Uit de resultaten van het bodem- en wateronderzoek blijkt dat er puur chemisch gezien geen redenen zijn voor het uitblijven van de ontwikkeling van waterplanten in de fortgrachten van Fort Ruigenhoek, Fort Vechten en Fort Rhijnauwen.
- Het is onwaarschijnlijk dat er sprake is van sulfide toxiciteit of ammoniak vergiftiging. De ondiepe delen zijn bovendien grotendeels vrij van slib.
- De belangrijkste reden voor het ontbreken van waterplanten zijn het matige doorzicht, de grote diepte in combinatie met de steile oevers en de vermoedelijk lage redoxpotentiaal van de bodem.
- De onderwaterbodem van fort Ruigenhoek is ijzerarm en niet zeer kalkrijk. De mogelijkheden om fosfaat te binden zijn hierdoor beperkt en de fortgracht is gevoelig voor vermisting.
- De belangrijkste gemeenschappelijke delers tussen de drie fortgrachten zijn het slechte lichtklimaat op de onderwaterbodem, de dimensies van de wateren en het feit dat er veel bomen op de oever staan.
- De genomen maatregelen in de gracht van fort Ruigenhoek hebben geen duidelijke effecten gehad op de waterkwaliteit. De oorzaak hiervan is de ongunstige Fe/P+S ratio waardoor de mogelijkheid tot P-fixatie zeer klein is. Deze wordt nog verder verkleind door de waarschijnlijk permanent anaerobe condities van de onderwaterbodem in de diepe delen. Hierdoor blijft inkomend fosfaat door bladval of bodemafbraak beschikbaar in de waterlaag waardoor algenbloei optreedt. Ook het

inlaten van gebiedsvreemd, fosfaat en/of sulfaat rijk water kan voor problemen zorgen.

- De ontwikkeling van submerse waterplanten in de fortgracht lijkt onder de huidige status quo niet haalbaar vanwege het slechte doorzicht.
- Door de zachte winters zijn de cyanobacteriën in staat in hogere aantallen de winter door te komen. Hierdoor zal er een grote entpopulatie aanwezig zijn voor het volgende zomerseizoen en zal de kans op een langdurige cyanobacteriële dominantie toenemen.



Foto 3. Begroeiing rond de fortgracht

Verkenning opties

1. Verbeteren van het lichtklimaat:

- a) Kappen van bomen
- b) Verminderen van de nutriëntenvoorraad
- c) Verminderen van de fytoplanktonbiomassa

Ad a. Kappen van bomen.

Deze maatregel heeft direct positief effect op het lichtklimaat in de ondiepere zones. Tevens wordt de bladval in de fortgracht minder. Dat heeft weer een gunstig effect op de nutriëntenhuishouding.

Forten hebben vaak een natuurfunctie als rustplaats in het landschap. Het kappen van bomen is strijdig met deze functie. Cultuurhistorisch gezien horen er geen bomen op de forten te staan, zij belemmeren het vrije schootsveld. Er zal een keuze gemaakt moeten worden tussen de natuur en rustfunctie van het fort en de cultuurhistorische waarde: wel of niet kappen van bomen.

Ad b. mogelijkheden om de de nutriëntenvoorraad te verminderen.

Verschillende opties komen hiervoor in aanmerking:

Het kappen van bomen vermindert de inwaai van bladeren sterk.

Toevoegen van fosfaatbindende middelen zoals ijzerchloride en /of Phoslock. Aan ijzer gebonden fosfaat komt gedeeltelijk vrij wanneer de verbinding in zuurstofloze omgeving terecht komt, een situatie die in waterbodems normaal is. Ook onder invloed van sulfaat zal ijzer het fosfaat afstoten waardoor het weer beschikbaar komt voor fytoplanktongroei. Sulfaat komt in venige bodems voor en kan via een open verbinding in de fortgracht terecht komen (zie ook ad 3).

Ad c. Het verminderen van de fytoplanktonbiomassa.

Gerstenstro

Door het toedienen van gerstenstro zou de groei van fytoplankton worden geremd. Uit onderzoek van de Landbouwniversiteit Wageningen is gebleken dat dit middel erger is dan de kwaal. Na verloop van tijd vindt er een explosie van nutriënten plaats met als gevolg een flinke bloei van fytoplankton.

Uitzetten van driehoeksmossels

Met het uitzetten van driehoeksmossels zijn goede resultaten geboekt. Driehoeksmosselen kunnen de cyanobacteriën uit het water filtreren. De mossel hecht zich aan hard substraat, dit kan in de fortgracht worden aangebracht. Echter de mossel zal zich ook hechten aan de steiger en aan het kinderbadje. De mossel is scherp en veroorzaakt snijwonden bij aanraking. In een zwembad zijn deze mosselen daarom niet gewenst.

Aquatische organismen zoals vis en de driehoeksmossel kunnen de toxine accumuleren.

Dit heeft weer gevolgen voor de dieren die vis en mossels eten.

Toevoegen van fosfaatabsorberende stoffen

De groei van cyanobacteriën kan op korte termijn worden tegengegaan door het toevoegen van Fe, Al of CaCO_3 om het fosfaat te absorberen. Vaak is het resultaat van deze methodes van korte duur. Phoslock schijnt een veelbelovend middel te zijn, er zij echter geen langjarige resultaten bekend. Ook is niet bekend wat de invloed is op het ecosysteem en wat de neveneffecten zijn. Daarnaast is niet duidelijk welke gevolgen de winning van het materiaal in China heeft voor het milieu en de arbeidsomstandigheden daar.

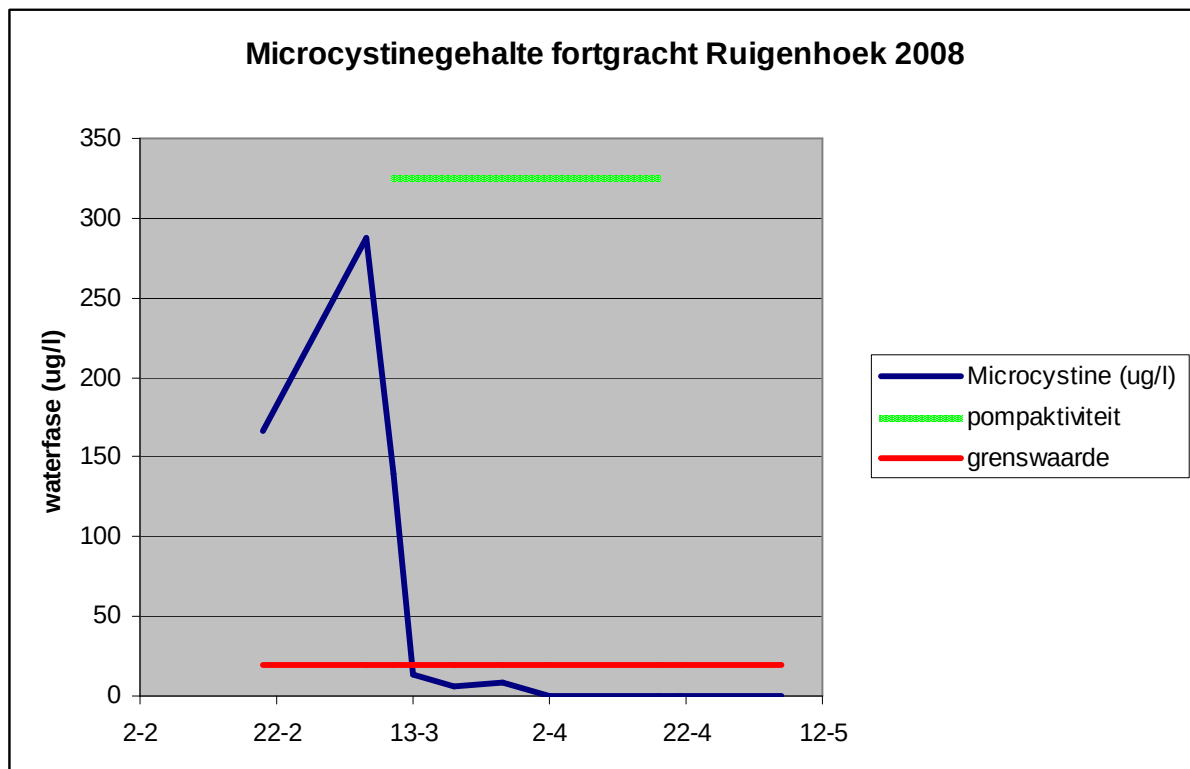
2. Doorspoeling van de fortgracht

Om deze maatregel effectief te kunnen toepassen is het nodig de verblijftijd terug te brengen tot 20 dagen of minder. De inhoud van de fortgracht is 157250 m^3 . Er is dus een inkomend debiet van ongeveer 8000 m^3 nutriëntarm water per dag nodig. Vooral wanneer er veel sulfaat in het doorspoelwater aanwezig is zal dit leiden tot een verhoogde nalevering van fosfaat uit de bodem. Wellicht kan het ijzerrijke spoelwater van het naburige drinkwaterstation een bijdrage leveren voor de aanvoer van nutriëntarm water.

Een tweede methode is het artificieel mengen van de waterkolom met behulp van pompen of streamers. Er is weinig ervaring met ondiepe wateren. Een dergelijke toepassing zou men gepaard moeten laten gaan met monitoring van de effecten van zowel biologische als fysisch chemische aard. Een goed gemengde waterkolom zou wel gunstig kunnen zijn voor de aanwezige cyanobacterie *P. agardhii*. In maart 2008 is een pomp in de fortgracht geplaatst om de grote hoeveelheid microcystine terug te dringen. Na drie weken pompen is het gehalte van microcystine in de waterkolom gedaald van $288 \mu\text{g/l}$ tot $0,30 \mu\text{g/l}$ in de waterkolom in de badzone. De drijfslag was al na ongeveer 2 weken verdwenen (zie grafiek 1). Dit is echter géén duurzame oplossing en zorgt voor een hoog energieverbruik.

Een derde mogelijkheid is om de fortgracht in verbinding te brengen met de polder ten westen van het fort. Deze heeft een goede waterkwaliteit als gevolg van het inlaten van ijzerrijk pompwater van het waterleidingbedrijf. Met behulp van een visvriendelijke pomp wordt het water uit de fortgracht het slootsysteem ingepompt en weer ingelaten zodat er een

constante stroming van water ontstaat. De energie kan door een combinatie van windmolen en zonnepanelen milieuvriendelijk worden verzorgd. Voordeel is tevens dat de leefomgeving van de vis sterk wordt verbeterd doordat het in verbinding komt met poldersloten.



Grafiek 1. Afname microscystinegehalte in de waterkolom als gevolg van het rondpompen water in de fortgracht.

3. Stimuleren van waterplanten

Door het creëren van ondiepe zonnige plekken (kappen bomen) en het aanvoeren van kiemkrachtig plantenmateriaal (stekjes, zaden, tubers etc) kan de groei van waterplanten worden gestimuleerd. Het is echter de vraag of het maken van voldoende ondiepe gedeelten in de fortgracht past in de cultuurhistorische achtergrond.

Doorkijk naar herstel andere fortgrachten (Rhijnauwen en Vechten)

Van groot belang bij verbetering van de waterkwaliteit in fortgrachten is het herstel van de watervegetatie. De kans op ontwikkeling van watervegetatie is niet groot. De oorzaak is het slechte lichtklimaat op de bodem, de dimensies van de fortgrachten en de oeverbegroeiing door bomen. De situatie in Rhijnauwen is echter beduidend beter dan in Ruigenhoek. De kansen van fort Vechten liggen hier tussenin.

Fort Rhijnauwen heeft een ijzerhoudende bodem die in staat is om fosfaat te binden mits de condities daarvoor aanwezig zijn. Door bladinvall te voorkomen en door te baggeren kan de kwaliteit verbeterd worden. Evenals het verwijderen van de bodemwoelende vissoorten zoals karper. Door het creëren van ondiepten kan de watervegetatie worden gestimuleerd. De combinatie van deze maatregelen kan genoeg zijn om de gewenste heldere staat te bereiken.

Ook in Fort vechten spelen dezelfde factoren de hoofdrol. Ook hier is het verwijderen van bomen de aangewezen maatregel, samen met baggeren en verwijderen van bodemwoelers. Als extra maatregel wordt het toedienen van ijzer aan de waterlaag voorgesteld. Cruciaal voor het helder houden van de fortgrachten is een goed ontwikkelde watervegetatie.

De eigenaar (Staatsbosbeheer) zal een keus moeten maken met betrekking tot de begroeiing van de fort en wat betreft het uitzetten van bodemwoelende vissen in de fortgrachten.

Wat gaan we doen?

Phoslock is een veelbelovende methode die fosfaat kan binden en voor helder water kan zorgen. Er is te weinig bekend van de langjarige effecten om toe te passen. Het toedienen van ijzerchloride is een mogelijkheid. Op deze schaal is echter nog geen ervaring in Nederland en wordt daarom niet toegepast. Beide methoden berusten op het wegvangen van fosfaat uit de waterkolom en vrijkomend uit de bodem. Het zijn beide kansrijke methoden die wellicht in de toekomst in vergelijkbare wateren kunnen worden toegepast.

Gezien het succes van het rondpompen van water gaat de voorkeur uit naar de optie om de verblijftijd aanzienlijk te verkorten. Het watersysteem wordt robuuster wanneer de fortgracht in verbinding wordt gebracht met een deel van de polder. Voorwaarde is wel dat het water in de polder een vergelijkbare kwaliteit moet hebben.

Advies

Dit onderzoek heeft ons geleerd dat niet alleen het verbeteren van de waterkwaliteit bepalend is voor het succes van verbeteringsmaatregelen maar dat ook de morfometrie van het betreffende water een belangrijke rol speelt. Wateren met een gemiddelde diepte van ca 4 meter zijn te ondiep om thermische stratificatie te vertonen maar zijn vaak te diep om een goede onderwatervegetatie te ontwikkelen. Ook de bodem heeft een belangrijke invloed op het aquatisch systeem met betrekking tot de opslag en binding van fosfaat. Bij toekomstige projecten zal daarom naast de waterkwaliteit ook de bodemkwaliteit onderzocht moeten worden. Het wel of niet aanwezig zijn van een ijzerrijke bodem of ijzerrijke kwel is een belangrijke succesfactor gebleken in het langdurig verbeteren van de waterkwaliteit. De maatregelen moeten tevens direct gericht zijn op de terugkeer van waterplanten. De andere belangrijke succesfactor. Van belang is, naast de monitoring van de zwemwaterkwaliteit, om de drie jaar de ecologie en de fysisch chemische parameters te monitoren om zodoend zicht te houden op de ontwikkeling van de fortgracht.

Financiën

In het "Integraal Waterbeheersplan De Stichtse Rijnlanden" is de uitvoeringmaatregel (10-4) "Eutrofiëringsbestrijding fortgracht Ruigenhoek" opgenomen. De omschrijving van het project is als volgt: *"Een deel van de fortgracht is in gebruik als zwembad De Kikker. Door de voedselrijkdom van het wateren een overmatige algengroei is het doorzicht onvoldoende (< 1m). Gestreefd wordt naar een integrale bestrijding van de eutrofiëring in de fortgracht. Onderdelen hiervan zijn baggeren, waterhuishoudkundige maatregelen en een aangepast visstandbeheer".*

Het project is conform deze omschrijving uitgevoerd. De kosten die toen zijn begroot bedragen fl 750.000,= hetgeen overeenkomt met € 341.000,=. De totale werkelijk gemaakte kosten liggen ruim binnen deze begroting en zijn afgerond € 262.000,= waarvan ruim € 152.000,= door subsidies zijn gedekt. Het waterschap zelf heeft ca. €110.000,= aan het project uitgegeven (niet meegerekend zijn de personele kosten gemaakt door medewerkers van HDSR). De niet afgeronde kosten zijn te vinden in onderstaande tabel.

Voorbereidende werkzaamheden		totaalkosten in euro
monotoring ecologie	12555.33	
monotoring fysisch chemisch	22805.02	
peilregistratie	2506.00	
voorbereiding baggeren	5757.86	
		43624.22
kosten uitvoering maatregelen 2000		
baggerwerkzaamheden	74493.45	
stortkosten	1432.69	
Isolatie fortgracht	6984.81	
Uitdunningsvisserij	7592.65	
Peilregistratie	2325.52	
Fysisch/chemische analyse	1603.80	
Categorieonderzoek baggerdepot	10130.64	
diversen	659.09	
		104563.56
monitoring 2001-2007		
monitoring en onderzoek ecologie A	69125.32	
monitoring en onderzoek visstand A	17299.29	
monitoring fysisch chemisch	11700.00	
		98124.61
evaluatie resultaten monitoring		
evaluatie blauwalgen NIOO	8500.00	
evaluatie watervegetatie B-ware	6385.00	
		14885.00
Kosten totaal project		261197.39
subsidies		
DLG	113572.77	
PU-BGM	34033.52	
SBB	4537.80	
		152144.09
kosten HDSR		109053.30

Literatuur

Chorus, I. and Bartram, J. (eds.) (1999). Toxic Cyanobacteriëen in Water: A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management. World Health Organization, E&FN Spon, Routledge, London.

Codd G.A. , S.M.F.O. Azevedo, S.N. Bagchi, M.D. Burch, W.W. Carmichael, W.R. Harding, K. Kaya and H.C. Utkilen, 2005. CYANONET A Global Network for Cyanobacteriëenl Bloom and Toxin Risk Management *Initial Situation Assessment and Recommendations* IHP-VI Technical Documents in Hydrology No. 76 UNESCO, Paris

Crayton M. A., TOXIC CYANOBACTERIËËN BLOOMS A Field/Laboratory Guide. Biology Department Pacific Lutheran University Tacoma, Washington 98447.

Dionisio Pires, L.M. (2005) Grazing for Clarity: zebra mussels as a potential tool in biomanipulation of lakes. Radboud University Nijmegen, Nijmegen.

Hoeken van R. , F. Bleeker & A. Driesprong-Zoeteman, 1996. Waterkwaliteitsonderzoek Fortgracht Ruigenhoek, eutrofiëringbestrijding in zwemwater de Kikker. Provincie Utrecht; Dienst waterkwaliteitsbeheer; bureau Oppervlaktewater.

Tijdens M., 2008. Literatuurstudie naar cyanobacteriën in fortgracht Ruigenhoek: Analyse van mogelijke huidige oorzaken van cyanobacteriënbloeien en toekomstperspectieven. Rapport Nederlands Instituut bppt Oecologisch Onderzoek (NIOO), Nieuwersluis.

Vernooij, S. (2006) Monitoring van de visstand in Fortgracht Ruigenhoek 2000-2006. Rapport 20060127 AquaTerra Water en Bodem B.V.

Weyters M. & Brouwer E. (2007) Evaluatie van het herstelbeheer in de gracht van fort Ruigenhoek en een vergelijking met de grachten van de forten Rhijnauwen en Vechten. Rapport B-Ware research centre.

Wilhelm, M.F. (2007). Biologische monitoring fortgracht Ruigenhoek, 1997-2006. Rapport 207209 Grontmij / AquaSense.

Bijlage 1. Het onderzoek

In paragraaf B1.1 wordt een samenvatting gegeven van de verzamelde resultaten van zowel biologische als fysisch-chemische parameters. B1.2 geeft een overzicht van de visstand na de maatregelen.

Paragraaf B1.3 beschrijft de hydrologische situatie nadat de fortgracht is geïsoleerd.

De volgende paragrafen B1.4 en B1.5 zijn evaluatieonderzoeken die antwoorden formuleert aan de hand van gestelde onderzoeksvragen.

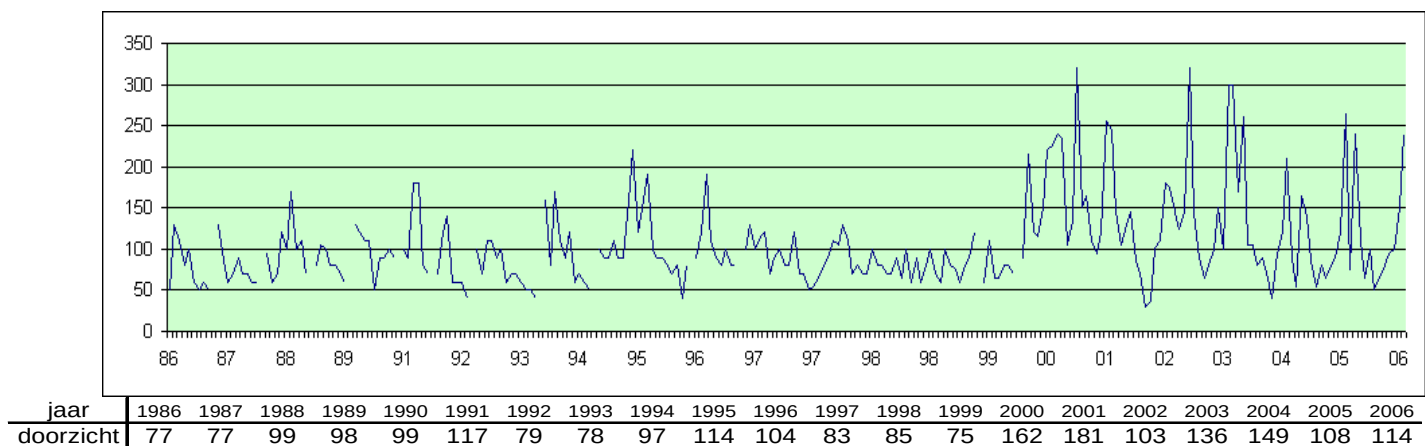
In paragraaf B1.4 wordt beschreven wat de verwachtingen zijn ten aanzien van de aanwezigheid van blauwwieren en de invloed van de klimaatsverandering op de waterkwaliteit. In paragraaf B1.5 wordt nader ingegaan op het achterwege blijven van de waterplanten. In deze paragraaf wordt een doorkijkje geschetst naar de te verwachten effecten in vergelijkbare fortgrachten.

B1.1 Monitoring biologische en fysisch – chemische parameters

(Wilhelm, M.F. (2007). Grontmij / AquaSense)

Fort Ruigenhoek maakt deel uit van de Hollandse waterlinie en ligt ten noorden van de stad Utrecht. Het water in de fortgracht voldoet sinds de jaren tachtig niet aan de normen; Er waren regelmatig drijfzaden van *Microcystis* en er was sprake van verminderd doorzicht door algenbloei. Dit gaf vooral voor het in de gracht gesitueerde zwembad “De Kikker” een behoorlijke overlast, welke al menigmaal geleid heeft tot het tijdelijk sluiten van het zwembad in de zomermaanden. Om veranderingen te signaleren is er een monitoringsprogramma opgesteld om de algen, watervlooien, vissen en waterplanten te volgen. Dit plan is van 1997 tot 2006 uitgevoerd door Grontmij/AquaSense. Vanuit een boot zijn aan de westkant van het fort maandelijks monsters genomen in het breedste gedeelte van de gracht. Deze locatie is gekozen omdat deze niet door zwemactiviteiten werd beïnvloed.

Als belangrijkste resultaat van de ingrepen kan het toegenomen doorzicht worden genoemd. In fig.1 is het verloop sinds 1986 geschetst. En hoewel het doorzicht in 2006, het warmste jaar in de meetreeks, niet het beste jaargemiddelde te zien geeft, is het zomergemiddelde toch nog altijd 114 cm.



Figuur 1. Doorzicht in cm Secchi diepte, vanaf 1997 gemeten door AquaSense vanuit een boot, daarvoor vanaf de steiger in zwembad de Kikker, Fortgracht Ruigenhoek 1986- 2006. . Onder de figuur zomerhalfjaargemiddelden doorzicht in cm.

Wel is het beste gemiddelde doorzicht voor de ingrepen (1991) hoger dan de gemiddelden berekend voor 2002, 2005 en 2006, wat enigszins verontrustend is. De beste jaren zijn namelijk direct na de ingrepen en de eerste terugval is al in het derde jaar, maar gemiddelden van net boven of onder de 80 cm voor de zomerperiode zijn sinds de ingrepen niet meer gemeten terwijl voor 2000 er zeven van dergelijke jaren te noteren zijn.

De isolatie van de gracht van het omringende polderwater, heeft tot gevolg dat de geleidbaarheid steeds verder afneemt. Het water is in de loop van het onderzoek steeds armer aan ionen geworden.

Voor de nutriënten zijn de waarden de laatste jaren vrij constant. In 2005 was een verhoging te zien. In die zomer is voor stikstof voor het eerst sinds augustus 2002 de MTR norm van 2,2 mg/l overschreden. De oorzaak hiervan was toen dat het waterschap als bestrijding van algenbloei en botulisme midden juli 2002 de gracht tien dagen heeft doorgespoeld met polderwater. Ook fosfor kwam hierdoor toen boven de MTR. Het grachtwater herstelde zich snel van deze injectie van nutriënten want enkele maanden later waren de meetwaarden weer normaal. Toch is dit moment voor fosfor wel ongeveer het omslagpunt geweest van de dalende lijn die sinds 1998 was ingezet. In 2006 is de MTR grens weer een aantal keren overschreden.

Er is nooit ondergedoken vegetatie aangetroffen. Gele plomp is de meest abundante waterplant. De oevers zijn vrijwel overal rond de gracht steil, zodat een brede helofytenkraag ontbreekt. Op de meeste plekken is het een ijle rij oeverplanten waarvan 80 % boven de waterlijn in de vochtige oever wortelt. Sinds de ingrepen is het waterpeil een stuk lager dan voorheen. Hierdoor zijn er sinds 2000 er op steeds meer plekken bomen in het water gevallen. Vooralsnog is de bomenvall nog te verspreid over de gracht om voldoende verandering in het lichtregime te veroorzaken.

In fig. 2 is duidelijk te zien dat na de ingreep het aantal algen is toegenomen en dat de grootste toename twee jaar na afvissen en uitbaggeren te vinden is. Deze aantallen normaliseren weer enigszins in 2003 maar blijven een veelvoud van wat er in de periode 1997-1998 in de gracht gevonden is. In 2006 zijn de aantallen weer bijna net zo hoog als in 2001 en 2002. Opvallend zijn de lage aantallen blauwalgen.

Er zijn vier perioden te onderscheiden waarbij de verhoudingen ingrijpend veranderen. In 1998 en 1999 domineren de blauwalgen. Van 2000, dus na de eerste ingrepen, tot in de eerste helft van 2002 zijn de aantallen blauwalgen gereduceerd en komen de overige algen sterker op dan de blauwalgen ooit zijn geweest. Eind 2004 tot en met 2005 hebben de blauwalgen weer de overhand en het laatste meetjaar zijn de groenalgen weer teruggekomen.

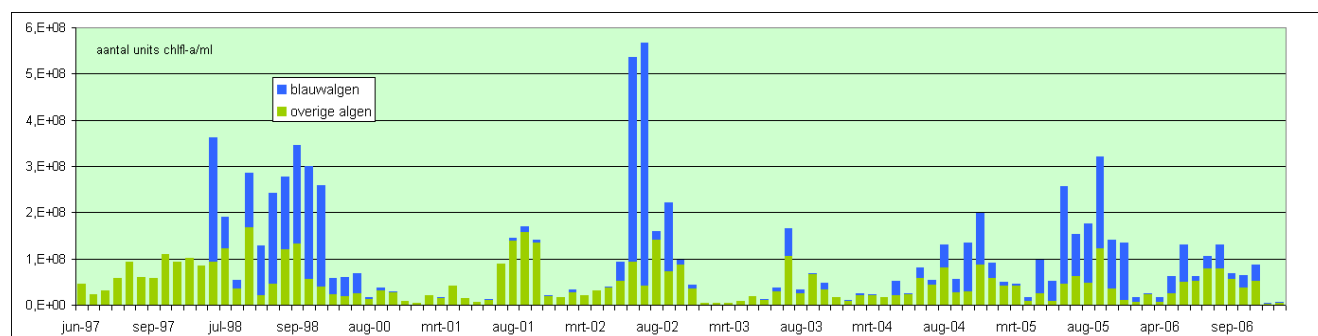


Fig. 2 Onderverdeling in overige- en blauwalgen mbv flowcytometrische analyse in de fortgracht Ruigenhoek vanaf 1997 tot 2006, uitgedrukt in units chlfl a/ml

De zoöplanktonsamenvatting is niet erg veranderd. De rotiferen zijn de meest abundante groep gebleven met pieken van plm. 8000/ liter. Ook zijn de aantallen cladoceren weer gelijk aan de jaren voor de ingrepen, na een lichte daling in de tussenliggende jaren. Het is opmerkelijk dat de zoöplanktonpopulatie niet sterker is veranderd onder invloed van de afvissingen. Het gesommeerde biovolume is in 2006 nog altijd fors lager dan in bijvoorbeeld 1997.

Het doel van de eerste afvissing was de graasdruk op het zoöplankton te verminderen en een reducering te bewerkstelligen van de opwoeling van bodemmateriaal door benthivore vis. Na het drastisch uitdunnen van de visstand ontstaat voedselruimte in een water. Hiervan kunnen de achtergebleven vissen profiteren door een snelle groei te realiseren en nieuw geboren vis kan door een goede overleving en snelle groei in korte tijd weer voor een grote toename van het visbestand zorgen. Om die reden is de ontwikkeling van de visstand middels enkele bestandsopnames gevolgd. De soorten die bij de verschillende visinventarisaties en afvissingen zijn gevonden Baars, Brasem, Blankvoorn, Kolblei, Aal/Paling, Pos, Karper, Alver, Winde, Rietvoorn/Ruisvoorn, Vetje, Zeelt en Snoek. De geschatte bestanden van 2003 en 2006 leiden in de maatlat voor M11 van de KaderRichtlijn Water tot een goede ecologische toestand (GET).

De hoeveelheid watervlooien (Cladoceren) in de gracht is altijd vrij laag is geweest. Als de planktivore visstand niet meer van die omvang is dat de watervlooien daardoor beperkt zouden worden, is er wellicht een andere factor die zorgt voor een beperkte graasdruk door het zoöplankton. Deze factor(en) zijn met dit onderzoek niet met zekerheid te benoemen.

De genomen maatregelen hebben (nog) niet tot het gewenste resultaat geleid namelijk een stabiel helder watersysteem. Zonder submerse vegetatie zal het ecosysteem vermoedelijk ook niet in balans raken. Hoewel het gemiddelde doorzicht is toegenomen, heeft er nog geen kolonisatie van submerse waterplanten plaatsgevonden.

Het kappen of omtrekken van bomen is wellicht een oplossing. Hierdoor komt meer licht op het water waardoor de submerse vegetatie kans krijgt zich te ontwikkelen. Anderzijds moet geconcludeerd worden dat tot nu toe een aantal bomen zijn omgewaaid en dat daar zich evenmin submerse vegetatie heeft gevestigd. De vraag blijft, waarom hebben de 'stekjes' waterpest die zijn aangetroffen zich niet vermeerderd? Het weghalen van bomen is landschappelijk gezien een aderlating maar er zijn positieve neveneffecten te verwachten op de macrofauna, vis en vogels wanneer de omgetrokken bomen in het water blijven liggen.

B1.2 Onderzoek Visstand

(Vernooij, S. 2006. AquaTerra Water en Bodem B.V)

In de periode van 1999 tot 2006 was er in de fortgracht Ruigenhoek een monitoringsprogramma om de ontwikkeling van het ecosysteem te volgen. Naast de chemische waterkwaliteit werd de kwantitatieve en kwalitatieve samenstelling van het fytoplankton, het zoöplankton en de vis bepaald. In tabel A is een overzicht gegeven van de uitgevoerde visactiviteiten.

Tabel A Uitgevoerde visserijprojecten in fortgracht Ruigenhoek, 2000-2006

Datum	Activiteit	Visbiomassa (kg/ha)
April 2000	bestandsopname	237
Mei 2000	na 1 ^{ste} afvissing	117
Maart 2002	bestandsopname, een deel van de vis is verwijderd	187
Maart 2003	bestandsopname	101
April 2003	na 2 ^{de} Afvissing	49
Maart 2006	bestandsopname	106

De fortgracht had in het voorjaar 2006 een geschatte totale visbiomassa van 106 kg/ha. De meest voorkomende vissoorten zijn paling en blankvoorn (beide 22% van de biomassa). Het bestand aan planktivore vis wordt geschat op ruim 4 kg/ha. Het bestand aan benthivore vis wordt geschat op ruim 35 kg/ha waarvan 0,4 kg/ha bodemwoelende vis. Het bestand aan piscivore vis wordt geraamd op bijna 62 kg/ha. In de fortgracht is, met uitzondering van

paling en snoek, vooral kleine vis aanwezig. Opmerkelijk is het grote aandeel blankvoorn van 19 t/m 23 cm en het grote aandeel éénjarige baars.

Van deze visstand valt op dit moment waarschijnlijk geen negatieve invloed op de waterkwaliteit te verwachten. Er is echter nog geen sprake van een stabiel en plantenrijk ecosysteem. Waarschijnlijk ligt de oorzaak niet (meer) in het visbestand maar in het afwezig zijn van een zaadbank en/of de diepte van de grachtbodem waardoor plantengroei achterwege blijft. Wel neemt de zichtdiepte in het water toe. Dit is waarschijnlijk het resultaat van de verwijdering van (een groot deel van) de benthivore vis. Evenwicht ontstaat echter pas als het hele ecosysteem (waterplanten, voedselaanbod en visstand) stabiel wordt. De oorzaak van de onstabiele situatie is nog onbekend.

De volgende acties worden aanbevolen:

- Voor de ontwikkeling van waterplanten kan een zaadbank worden toegevoegd. Dit heeft uiteraard alleen zin indien er kans is op een voldoende lange periode met helder water.
- Het functioneren van het watersysteem dient nader bestudeerd te worden waarbij alle parameters betrokken worden. De periodiek optredende blauwalgenbloei wijst op een (te) sterke nutriëntbelasting. Gezien de isolatie van het water ligt interne belasting het meest voor de hand. Dit kan worden bepaald aan de hand van analyse van de waterbodem.

B1.3 Waterbalans Ruigenhoek

(Kosten S., 2002. Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden)

De kwel- en infiltratieflex varieert tussen de -8.0mm/dag tot 2,6mm/dag. De gemiddelde hoeveelheid wegzijging over de beschouwde periode is 0,89mm/dag. De stijghoogten in het eerste watervoerend pakket verklaren het wegzakken van het grachtpeil. De gemiddelde stijghoogte is ongeveer NAP-0,50m en de verwachting is daarom dat het grachtpeil niet nog verder weg zal zakken. Een verdere (temporele) zakking is echter niet geheel uit te sluiten daar de stijghoogte soms maar NAP-0,80m bedraagt. Of dit lage peil ook werkelijk bereikt wordt hangt af van de lengte van periode waarin de stijghoogte zo laag blijft en van de klimatologische omstandigheden.

B1.4 Evaluatie gegevens en literatuuronderzoek met betrekking tot blauwwieren

(Tijdens M., 2008, Nederlands Instituut voor Ecologisch Onderzoek)

Cyanobacteriën, ook wel blauwwieren genoemd vanwege hun karakteristieke blauwgroene kleur, zijn vooral berucht voor de overlast die ze veroorzaken. Ze kunnen drijfvlagen vormen en giftige stoffen produceren.

Blauwwieren hebben slechts water, koolzuur, anorganische stoffen en licht nodig. De meeste blauwwieren kunnen, net als planten, licht gebruiken en met behulp van water zuurstof produceren.

Omdat blauwwieren vaak in voedselrijke meren voorkomen wordt vaak gedacht dat ze hoge concentraties fosfaat en stikstof nodig hebben. Tijdens de bloei is de concentratie van totaal fosfaat en totaal stikstof inderdaad hoog, terwijl de concentraties van beschikbaar stikstof en fosfaat erg laag zijn. Bij lage nutriëntenconcentraties kunnen ze beter voedingsstoffen opnemen dan andere organismen zoals algen. Cyanobacteriën hebben dus inderdaad hoge concentraties stikstof en fosfaat nodig om veel biomassa te kunnen bereiken, maar zijn daarom goed in staat zich in stand te houden bij lage nutriëntenconcentraties

Toekomstperspectief

Ondanks de maatregelen om nutriënten te reduceren en het doorzicht te verbeteren is er in fortgracht Ruigenhoek nog steeds troebel water met veel fytoplankton en bloeien van

toxische cyanobacteriën, zonder een macrofytenvegetatie. De conclusies van dit literatuuronderzoek worden hieronder aan de hand van de onderzoeksvragen samengevat.

1) Waarom zijn na diverse ingrepen de submerse waterplanten niet teruggekeerd in fortgracht Ruigenhoek en is het systeem nog steeds gedomineerd door cyanobacteriën?

1a) Waarom zijn submerse waterplanten nog steeds afwezig in de fortgracht?

Meerdere factoren kunnen de opkomst en vestiging van macrofyten in de fortgracht hebben belemmerd. Deze worden hier met nummers tussen haakjes aangegeven. Het aanblijven van de cyanobacteriën en groenalgen en het uitblijven van de submerse waterplanten in de fortgracht hebben direct met elkaar te maken. Waterplanten en fytoplankton beconcurreren elkaar om nutriënten en vooral om licht. Omdat de fortgracht relatief diep is (4 – 4.5 meter), is er veel doorzicht nodig om licht tot de bodem te laten doordringen en zo de groei van waterplanten te stimuleren. Het doorzicht is echter nog steeds erg laag en is maar zelden meer dan 2 meter. Het aanblijven van een hoge biomassa fytoplankton belemmert het doorzicht in de fortgracht. Meerdere factoren (cyanobacteriën, diepte, humuszuren) zorgen er, al dan niet gezamenlijk, voor dat er niet voldoende licht is voor macrofyten om te groeien. Voor het zich succesvol vestigen van submerse waterplanten wordt een TP concentratie van hooguit 0.1 mg L⁻¹ aanbevolen. De TP concentratie heeft een aantal jaren onder die concentratie gelegen, maar is de laatste jaren echter weer regelmatig hoger geweest. Het baggeren van het sediment van de fortgracht zou verder de zaadbank verwijderd kunnen hebben die nodig is om de populatie macrofyten op te bouwen. Daarnaast kan sulfaatreductie in het sediment leiden tot de productie en ophoping van sulfide in het interstitiële water, wat giftig is voor waterplanten.

1b) Waarom is het systeem in de fortgracht nog steeds gedomineerd door cyanobacteriën?

In de fortgracht hebben zich ondanks de ingrepen nooit submerse waterplanten gevestigd, en zijn er nog steeds vrij hoge TP waardes en troebel water, omstandigheden die uitermate geschikt zijn voor fytoplankton en vooral voor cyanobacteriën. De laatste jaren werken de TN:TP ratio en TP concentratie in de fortgracht een toename van cyanobacteriën in de hand. De toenemende TP concentratie in de fortgracht is waarschijnlijk toe te schrijven aan de interne eutrofiëring vanuit het sediment. Additionele bronnen voor TP zijn waarschijnlijk het bladafval van de omringende bossages en nutriëntenrijke afspoelwater vanaf de steile beboste oevers. De troebelheid van het water zorgt voor weinig invallend licht, wat vooral gunstig is voor de filamenteuze *Oscillatoria* - *Planktothrix* soorten. Deze kunnen met weinig licht en nutriënten lange tijd hoge aantallen handhaven, waardoor ander fytoplankton en de waterplanten vanwege competitie om licht en nutriënten niet de kans krijgen zich te ontwikkelen. Vanwege de kleine oppervlakte van de fortgracht en de beschutte ligging, zal er weinig menging van de waterkolom optreden. Hoge temperaturen en een stabiele waterkolom op zomerse dagen werken de ontwikkeling van drijflagen van toxische cyanobacteriën, zoals bv. *Microcystis*, in de fortgracht in de hand.

2) Wat zijn de verwachtingen van het systeem? Hoe groot is de kans dat de waterkwaliteit in fortgracht Ruigenhoek onder de huidige status quo zal verbeteren?

De ontwikkeling van submerse waterplanten in de fortgracht lijkt onder de huidige status quo niet haalbaar vanwege het slechte doorzicht (als gevolg van hoge biomassa cyanobacteriën en benthivore vis) in combinatie met de relatief grote diepte en de stijgende TP concentraties in de fortgracht. Het toenemen van het aandeel grote cyanobacteriën, vooral van *Planktothrix agardhii*, is zorgwekkend. Omdat deze cyanobacteriën vanwege hun grootte en toxiciteit weinig begraaasd worden en zich lange tijd in grote aantallen kunnen handhaven, is de kans niet groot dat het doorzicht in de fortgracht zal verbeteren onder de huidige status quo. *P. agardhii* is een potentieel toxische cyanobacterie, waardoor de toename van deze soort nog meer problemen zal opleveren voor natuurzwembad 'de Kikker'.

3) *Welke maatregelen zouden nog genomen kunnen worden om de waterplanten in het systeem te laten terugkeren?*

Om de kans op het vestigen van waterplanten goed in te kunnen schatten zou er in de toekomst gekeken moeten worden naar de aanwezige zaden en tubers in het sediment van de fortgracht. Verder zou er gekeken moeten worden naar de concentratie sulfide in het interstitiële water, omdat de giftige werking van sulfide de vestiging van waterplanten in de weg zou kunnen staan. Wanneer de zaad -of tuberbank in het sediment een probleem blijkt te zijn, zou er overgegaan kunnen worden tot het uitzetten van waterplanten in de fortgracht. Uiteraard zal dan eerst het doorzicht in de fortgracht verbeterd moeten worden.

De belangrijkste belemmerende factoren voor vestiging van waterplanten in de fortgracht lijken op dit moment het slechte doorzicht en de vermoedelijke afwezigheid van zaden te zijn. Het invallende licht bereikt de bodem niet vanwege de cyanobacteriën en is daardoor waarschijnlijk limiterend voor het ontkiemen en ontwikkelen van submerse waterplanten (indien er wel zaden aanwezig zijn). Hieronder volgen maatregelen die genomen zouden kunnen worden:

- Om de lichtinval in de fortgracht te verbeteren valt er te denken aan het gedeeltelijk kappen van de oeverbossages. Dit zou tevens de hoeveelheid bladafval (nutriënten input) in de gracht verminderen.
- Door het creëren van ondieptes in de fortgracht of het verlagen van het waterpeil zou meer licht de bodem kunnen bereiken, wat de ontwikkeling van submerse waterplanten stimuleert. In sommige studies wordt verlaging van het waterpeil echter als schadelijk voor de waterplanten vegetatie geacht, door bijvoorbeeld meer invloed van golven en van ijsbedekking in de winter. Een toename van golfwerking wordt niet belangrijk geacht in een kleine plas als de fortgracht. De waterstand in de fortgracht fluctueert nu maximaal met 0.3 meter, voor optimale ontwikkeling van waterplanten moet waarschijnlijk gedacht worden aan een reductie in het waterpeil van >2 meter of aanleg van ondieptes van <2 meter diepte.
- Waterplanten zouden kunnen worden aangeplant in de fortgracht. Dit zou kunnen gebeuren nadat deze is leeggepompt. Het leegpompen van de fortgracht zou tevens gebruikt kunnen worden om de vispopulatie verder te verminderen en/of een geschikte vispopulatie te introduceren. Vervolgens kan het systeem weer vollopen met kwel -of regenwater of gevuld worden door het inpompen van nutriëntenarm water. Een vergelijkbare aanpak is gebruikt in Zwemlust. Het is echter de vraag of leegpompen haalbaar is voor de fortgracht, aangezien deze groter is dan Zwemlust en het leegpompen zou kunnen leiden tot het wegzakken van de oevers.
- Om het doorzicht niet verder te verslechteren is het essentieel om de concentratie benthivore vis goed te monitoren en eventueel het afvissen periodiek te herhalen om de aanwas van jonge vis tegen te gaan .

4) *Welke maatregelen zouden in de toekomst nog genomen kunnen worden om de kwaliteit van het zwemwater te verbeteren (in het bijzonder het gebruik van Phoslock en de inzet van driehoeksmosselen)? Wat zijn de ervaringen met deze maatregelen?*

Om het doorzicht verder te verbeteren zouden de cyanobacteriën actief tegengegaan kunnen worden met één of een combinatie van onderstaande methodes:

- Omdat de in de fortgracht voorkomende filamenteuze, toxische cyanobacteriën minder efficiënt begraaasd kunnen worden door het zooplankton, zou gedacht kunnen worden aan grazers die dat wel kunnen. Driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*) kunnen zowel toxische als filamenteuze cyanobacteriën, succesvol uit de waterkolom filtreren. Groot nadeel voor de inzet van driehoeksmosselen in de fortgracht is het feit dat zwemmers zich kunnen verwonden indien ze met de schelpen in aanraking komen (snijwonden). Verder is er geschikt substraat nodig voor de driehoeksmosselen om zich te kunnen vestigen en is er

de kans dat de mosselen zich verspreiden binnen de fortgracht en zich bijvoorbeeld hechten aan de steiger of het zwembad in zwembad de Kikker.

- De groei van cyanobacteriën kan op de korte termijn worden tegengegaan door het toevoegen van Fe, Al of CaCO_3 om het fosfaat te absorberen. Vaak is het reducerende effect op de fosfaatconcentratie echter maar van korte duur met deze methodes.

Een variatie hierop is het gebruik van Phoslock, een mengsel van klei (bentoniet) en ruwe aarde (lanthanum) dat fosfaat bindt. Initiële onderzoeken tonen aan dat de absorptie van fosfaat met Phoslock effectief kan zijn en onomkeerbaar. Er is echter nog maar weinig bekend over lange termijn resultaten en de neveneffecten van Phoslock. Zo is bijvoorbeeld aangetoond dat lanthanum bij concentraties $> 1\text{mg L}^{-1}$ toxisch kan zijn voor watervlooien. Het lanthanum komt echter in veel kleinere concentraties vrij uit Phoslock, dan waarop het toxisch is gebleken voor de watervlooien. Voordat het toegepast kan worden is er meer onderzoek naar de neveneffecten van Phoslock nodig.

Een alternatieve methode is het gebruik van 'Effectieve Micro-organismen' m.b.v. EM 'bokashi' modderballen. Onderzoek heeft echter uitgewezen dat de beweerd concurrentie om nutriënten tussen 'Effectieve Micro-organismen' en cyanobacteriën niet optreedt en dat de EM modderballen de cyanobacterie-bloeien niet konden voorkomen.

Daarnaast wordt gerstestro (Barley Straw) toegepast om bloeien van cyanobacteriën te voorkomen. In het verleden zijn er positieve resultaten behaald met gerstestro, die werden toegeschreven aan het vrijkomen van allelopathische stoffen, die de groei van algen remmen. Ander onderzoek heeft echter uitgewezen dat gerstestro het voorkomen van cyanobacteriële bloeien niet kan voorkomen en zelfs kan leiden tot een stimulatie van de groei van algen. Er is verder nog maar weinig bekend over het exacte mechanisme en gevolgen van het toedienen van gerstestro.

Voordat dergelijke methodes, zoals het toedienen van Phoslock en gerstestro, worden toegepast in de fortgracht, is het sterk aan te raden om de effecten van deze methodes eerst te testen met gecontroleerde experimenten.

- Het artificieel mengen van de waterkolom met behulp van het doorpompen van lucht en of streamers is een beproefde methode om drijfslagen van giftige cyanobacteriën tegen te gaan. Deze aanpak wordt al in natuurzwembad de Kikker toegepast. Drijfslagvormende cyanobacteriën zoals bv. *Microcystis* zijn gebaat bij een stabiele waterkolom, om drijfslagen te kunnen vormen en zo efficiënt te kunnen concurreren voor licht. In een sterk gemengde waterkolom zijn ze minder goed in staat om drijfslagen te vormen. Artificieel mengen stimuleert tevens het opkomen van diatomeeën en groenalgen omdat zo verliezen door sedimentatie worden gereduceerd. Tevens resulteert dit in een, voor deze twee groepen fytoplankton, voordelige lagere pH. Voor de fortgracht is artificieel mengen echter niet aan te raden vanwege de volgende redenen: 1) Artificieel mengen is vooral succesvol in diepere gestratificeerde meren, en lijkt minder goed toepasbaar in ondiepe meren zoals de fortgracht. 2) In ondiepere meren kan via het doorpompen met lucht resuspensie van bodemslib veroorzaken, met als gevolg een afname van het doorzicht en een toename van de fosfaatconcentratie. Streamers werken mengen het water vooral aan de oppervlakte en zullen niet snel tot resuspensie van het bodemslib leiden. 3) Een groot nadeel van artificieel mengen in de fortgracht is dat een goed gemengde waterkolom gunstig is voor het voorkomen van *P. agardhii*. 4) Daarnaast leidt artificieel mengen niet tot het vestigen van waterplanten en in sommige gevallen leidt het zelfs tot een toename van het fytoplankton. 5) Artificieel mengen gaat verder gepaard met hoge energiekosten, maar kan om energie te besparen ook in periodes toegepast worden.
- Wederom is het belangrijk om de hoeveelheid planktivore vis goed in de gaten te houden, en eventueel het afvissen periodiek te herhalen om de aanwas van jonge vis tegen te gaan en zo de ontwikkeling van de zoöplanktonpopulatie te bevorderen, die op zijn beurt het fytoplankton onderdrukt.

5) Hoe zullen klimaatsveranderingen het troebele, door algen gedomineerd systeem, beïnvloeden?

Voor Nederland is een temperatuurstijging tussen de 1 en 4 °C voorspeld (KNMI scenario's). In de fortgracht is het vooral van belang dat een temperatuurstijging cyanobacteriën in staat zal stellen in hogere aantallen de winter door te komen. Hierdoor zal er een grote entpopulatie aanwezig zijn voor het volgende zomerseizoen en zal de kans op een langdurige cyanobacteriële dominantie toenemen. Tijdens een bezoek aan de fortgracht eind december 2007 werden er grote aantallen en zelfs drijfslagen van *P. agardhii* waargenomen (persoonlijke waarneming, Tijdens en Dionisio Pires). Daarnaast zijn warmere watertemperaturen vooral in het voordeel van *Microcystis*, waardoor deze vaker drijfslagen zou kunnen gaan vormen. Bij langdurige *P. agardhii* dominantie zal dit vanwege concurrentie tussen de twee cyanobacterie-soorten echter niet vaak voorkomen.

Verder is de voorspelde toename van de neerslag en grondwaterstand in de winter en lente mogelijk van belang voor fortgracht Ruigenhoek. Een toename van neerslag en een verhoging van het grondwaterpeil tot boven het oppervlaktewaterpeil kan leiden tot meer afspoeling van nutriënten vanuit het land naar het water. Vooral door de steile, beboste oevers van de fortgracht is dit scenario niet ondenkbaar en kan het dus resulteren in een toename in nutriëntenconcentraties in het water van de fortgracht. Een toename in nutriënten zal de groei van fytoplankton en in het bijzonder cyanobacteriën stimuleren.

B1.5 Evaluatie gegevens met het accent op de watervegetatie

(Weyters M. & E. Brouwer. 2007. B-Ware research centre)

Conclusies en aanbevelingen

In de gracht van fort Ruigenhoek zijn in de winter van 1999/2000 uitvoerig maatregelen genomen om de waterkwaliteit te verbeteren en de algengroei tegen te gaan. Doel was om de ontwikkeling van wortelende waterplanten te stimuleren. De gewenste resultaten blijven echter uit. In opdracht van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden heeft B-WARE een quickscan uitgevoerd om de volgende vragen te beantwoorden:

1. wat zijn de oorzaken van het ontbreken van submerse waterplantenvegetaties in de fortgrachten?
2. wat zijn de oorzaken van de beperkte resultaten van de genomen maatregelen in fort Ruigenhoek?

Een algemene karakteristiek van de fortgrachten is de volgende. In alle grachten is sprake van sterk gebufferd, tamelijk sulfaatarm water. De concentratie orthofosfaat in het oppervlaktewater is tamelijk hoog, maar zeker niet extreem hoog. In het bodemvocht is zelfs sprake van opmerkelijk lage concentraties opgelost fosfaat. Wel zijn de concentraties opgelost ijzer vaak erg laag. Dit gaat gepaard met lage gehalten aan totaal ijzer in de bodem en, naar verhouding met deze hoeveelheid totaal ijzer, hoge sulfaat gehalten. De bodems zijn wel tamelijk rijk aan calcium, maar het kalkgehalte is ook niet dusdanig hoog dat een sterke binding van fosfaat aan calcium verwacht kan worden. Vooral in Ruigenhoek is de bodem ijzerarm en dus gevoelig voor verontreiniging met fosfaat. Opvallend is dat op geen van de monsterlocaties een echte sliblaag is aangetroffen, het maximale percentage organisch stof was 15%. Toch zijn ook diepste delen van de gracht bemonsterd. Mogelijk zijn plaatselijk aanwezige sliblagen gemist, maar kennelijk zijn grote delen van de onderwaterbodem slibarm of zelfs slibvrij. Dat is een niet ongebruikelijke situatie in sterk gebufferde wateren in het rivierengebied. Door de sterke buffering wordt organisch materiaal snel afgebroken.

Discussie resultaten

1. *wat zijn de oorzaken van het ontbreken van submerse waterplantenvegetaties in de fortgrachten?*

Uit de resultaten van het bodem- en wateronderzoek blijkt dat er puur chemisch gezien geen redenen zijn voor het uitblijven van de ontwikkeling van waterplanten in de fortgrachten van Fort Ruigenhoek, Fort Vechten en Fort Rhijnauwen. Het is onwaarschijnlijk dat er sprake is van sulfide toxiciteit of ammoniak vergiftiging. Zeker de ondiepe delen zijn bovendien grotendeels vrij van slib. De reden voor het ontbreken van waterplanten moet daarom in een andere hoek gezocht worden. De belangrijkste zijn het matige doorzicht, de grote diepte in combinatie met de steile oevers en de vermoedelijk lage redoxpotentiaal van de bodem.

Uit de NO_3/NH_4 verhouding in het bodemvocht (figuur 4.7 A) blijkt dat de toplaag van de onderwaterbodem van de fortgrachten anaeroob is. Dit is mogelijk een reden voor het uitblijven van de ontkieming van waterplanten. Tijdens heldere perioden in winter en voorjaar kan enige oxidatie plaatsvinden. Echter, kieming van waterplanten vindt vooral plaats als het water voldoende is opgewarmd, dus in de loop van de zomer. Tegen die tijd is door algenbloei het doorzicht echter beperkt en heersen op de bodem zuurstofarme of zuurstofloze condities. Omdat de toplaag van de bodem anaeroob is, kunnen opgeloste ijzerfosfaten naar de waterlaag diffunderen. Dit verklaart het opvallend geringe verschil tussen de concentratie orthofosfaat in de waterlaag en in het bodemvocht.

Belangrijker is waarschijnlijk nog dat de dimensies van de fortgrachten, in combinatie met het matige doorzicht, de groei van waterplanten bemoeilijkt, zoals ook word geconcludeerd in het rapport van Grontmij/Aquasense (Wilhelm en Bokx, 2007). Door het steile talud en de diepte van de fortgrachten zijn er weinig tot geen ondiepe zones waar waterplanten genoeg licht kunnen opvangen. Verder zorgen de bomen rond de grachten voor extra schaduw en aanvoer van nutriënten door de inval van dode bladeren. Bladinwaai vormt waarschijnlijk de grootste bron van fosfaat op dit moment. Ook kan in het geval van hevige regenval organisch materiaal vanuit de omgeving de grachten inspoelen.

Uit figuur 4.8 blijkt dat met de huidige waterkwaliteit de maximale diepte waarop zich waterplanten kunnen vestigen in de gracht van Fort Ruigenhoek 65 cm is. Voor Fort Vechten en Fort Rhijnauwen is deze diepte respectievelijk 112 cm en 105 cm. Voor de ontwikkeling van een normale onderwatervegetatie is het echter waarschijnlijker dat een maximale diepte van 23cm voor Fort Ruigenhoek en 40cm en 37cm voor Fort Vechten en Fort Rhijnauwen in acht moet worden genomen. Hierbij is geen rekening gehouden met eventuele overschaduw door de omringende bomen waardoor het areaal waarin onderwaterplanten zich kunnen ontwikkelen nog kleiner wordt.

De relatief hoge extinctiewaarden kunnen in het geval van Fort Ruigenhoek verklaard worden door de aanwezigheid van een laag drijvende algen die de doorval van licht belemmeren. Door de ongunstige Fe/S+P ratio is er geen ijzer beschikbaar om inkomend fosfaat door bladval of bodemafbraak te binden. Hierdoor blijft dit fosfaat beschikbaar voor algen. In het geval van de fortgrachten van fort Vechten en fort Rhijnauwen is het waarschijnlijk dat de lichtdoorval wordt belemmerd door humuszuren. Humuszuren komen in het water door de afbraak van bladeren die in het water zijn gevallen. Echter, ook in Rhijnauwen en vooral Vechten komt de laatste jaren steeds vaker algenbloei voor (mond. Mededeling P. Heuts). Fort Vechten heeft een betere Fe/S+P ratio dan fort Ruigenhoek, maar de ratio is nog steeds niet hoog (rond de 2.2) dit zien we ook terug in de lage concentratie ijzer in het bodemvocht. Verder is de toplaag in fort Vechten fosfaatrijk, hetgeen in combinatie met de zuurstofloze condities en hoge pH kan leiden tot nalevering van fosfaten naar de waterlaag. Fort Rhijnauwen heeft de meest gunstige uitgangspositie met een Fe/S+P ratio van 4.3 voor de kleilaag en 3.2 voor de zandlaag. Ook de hoeveelheid Fe in het bodemvocht is hoger dan bij de andere grachten (rond de 100 $\mu\text{mol/l}$). Dit kan verklaren waarom er in fort Rhijnauwen minder problemen met algenbloei zijn. De gemeten

Fe/S+P ratio en ijzerconcentraties zijn ook hier echter niet zeer gunstig waardoor de drie bekeken grachten gevoelig blijven voor P-eutrofiering.

2. wat zijn de oorzaken van de beperkte resultaten van de genomen maatregelen in fort Ruigenhoek?

De onderwaterbodem van fort Ruigenhoek is ijzerarm en niet zeer kalkrijk. De mogelijkheden om fosfaat te binden zijn hierdoor beperkt en de fortgracht is gevoelig voor vermesting. Aanvoer van fosfaatrijk, en vermoedelijk ook sulfaatrijk, oppervlaktewater heeft daarom geleid tot vermesting. Met het opgehoopte slib is de fosfaatlast verwijderd, maar de bodem eronder die door het baggeren is vrijgekomen bevat nog wel een duidelijk verhoogd gehalte aan zwavel. De capaciteit van deze bodem om fosfaat te binden is vrijwel nihil. Nog aanwezige fosfaatresten, de incidentele waterinlaat en/of de bladinwaai zijn dan voldoende om weer een algenbloei in gang te zetten. Deze algen houden een voedselrijke situatie in stand. De blauwwieren fixeren stikstof. Wanneer afgestorven algen sedimenteren komt deze stikstof vrij (hoge ammoniumwaarden in bodemvocht), worden zuurstof en andere electronenacceptoren verbruikt, sulfaat gereduceerd en fosfaat gemobiliseerd. Gezien de dimensies van de fortgrachten valt het te betwijfelen of een sterke verbetering van het doorzicht van het water zal leiden tot de gewenste ontwikkeling van waterplanten. Bij een extinctiewaarde van 0,01 is de maximale kolonisatiediepte 7.7 m, maar de diepte waarop de meeste waterplanten genoeg licht zullen ontvangen ligt op 2,9 m diep.

Conclusies

In geen van de 3 fortgrachten is sprake van significante hoeveelheden ondergedoken waterplanten.

Enkele mogelijke redenen hiervoor kunnen op grond van dit onderzoek worden uitgesloten:

- Sulfiden in de onderwaterbodem. De concentraties sulfaat in de waterlaag zijn vrij laag (Ruigenhoek) tot laag. De kritische Fe/S ratio voor sulfidevorming wordt vrijwel nergens bereikt. Er is nergens duidelijk sulfide geroken.
- Ammoniumvergiftiging. De waargenomen concentraties ammonium in waterlaag en bodem zijn niet extreem hoog. Mogelijk dat in Ruigenhoek door algenbloei periodiek een zeer hoge pH optreedt, waardoor ook bij lagere concentraties vergiftigingsverschijnselen kunnen optreden. Dit is dan een secundair effect van algenbloei.

Ook algenbloei en de hiermee samenhangende mechanismen die tot eutrofiering leiden, kunnen niet de enige oorzaak zijn voor het ontbreken van waterplanten. Vooral in fort Rhijnauwen treedt immers nog slechts weinig algenbloei op. Onzes inziens zijn de belangrijkste gemeenschappelijke delers tussen de drie fortgrachten het slechte lichtklimaat op de onderwaterbodem, de dimensies van de wateren en het feit dat er veel bomen op de oever staan.

Verreweg het grootste deel van de onderwaterbodem bevindt zich op een diepte van 3 meter of meer en de wateren zijn relatief smal. Het merendeel van de onderwaterbodem ontvangt weinig zuurstof door de slechte circulatie bij deze dimensies. De bladinval zorgt voor extra zuurstofconsumptie en dus meer anaerobe. De toch al geringe binding van fosfaat aan ijzer zal door de lage redoxpotentiaal nog slechter zijn. De onderwaterbodem zal dus fosfaat naleveren, dat o.a. vrijkomt bij bladafbraak. Een kleine verslechtering van het lichtklimaat, door enige algengroei (fosfaat!) of door enige kleuring van het water door humuszuren die vrijkomen bij de bladafbraak, zal in combinatie met de grote waterdiepte zorgen voor een onvoldoende lichtklimaat voor ondergedoken waterplanten. De ondiepere delen worden voor een deel ook overschaduwd door bomen.

Gecombineerd met de hoge extinctiewaarden, veroorzaakt door algen (Ruigenhoek en Vechten) en waarschijnlijk humuszuren (Rhijnduinen en Vechten) is de diepte waarop waterplanten genoeg licht ontvangen om zich te kunnen vestigen beperkt tot circa 65 cm voor fort Ruigenhoek en 112cm en 105 cm voor fort Vechten en fort Rhijnduinen. Voor een kansrijke, diverse waterplantenvegetatie is een maximale diepte van 23cm voor fort Ruigenhoek en 40cm en 37cm voor fort Vechten en fort Rhijnduinen echter kansrijker. Dergelijke ondiepe delen zijn momenteel vrijwel afwezig.

Een mogelijke oplossing voor het uitblijven van de ontwikkeling van wortelende waterplanten is het creëren van ondiepe zones, maar dit is niet in overeenstemming met de historische waarde van de fortgrachten. Momenteel wordt door B-ware ook onderzoek verricht in de fortgrachten (lunetten) bij Vught. Deze zijn vaak even eutroof en bladrijk, maar bezitten wel ondiepe oeverdelen. Hier bevinden zich o.a. Drijvende waterweegbree (*Luronium natans*) en Duizendknoopfonteinkruid (*Potamogeton polygonifolius*).

De genomen maatregelen in de gracht van fort Ruigenhoek hebben geen duidelijke effecten gehad op de waterkwaliteit. De oorzaak hiervan is de ongunstige Fe/P+S ratio waardoor de mogelijkheid tot P-fixatie zeer klein is. Deze wordt nog verder verkleind door de waarschijnlijk permanent anaërobe condities van de onderwaterbodem in de diepe delen. Hierdoor blijft inkomend fosfaat door bladval of bodemafbraak beschikbaar in de waterlaag waardoor algenbloei optreedt. Ook het inlaten van gebiedsvreemd, fosfaat en/of sulfaat rijk water kan voor problemen zorgen. Het sulfaat versterkt het vrijkomen van fosfaten en de lage concentratie ijzer zorgt ervoor dat vrijgekomen fosfaten niet gebonden kunnen worden. Uit dit onderzoek kan niet vastgesteld worden of het achterblijven van slib na de baggerwerkzaamheden heeft bijgedragen aan de algenbloei.

Aanbeveling herstelmaatregelen

Uit het onderzoek komt naar voren dat de kansen voor ondergedoken waterplanten in de fortgrachten niet groot zijn. Wel zijn er verschillen per fortgracht; de situatie in Rhijnduinen is beduidend gunstiger dan in Ruigenhoek, Vechten ligt hier tussenin. In de fortgracht van Rhijnduinen bestaat de bodem deels uit ijzerhoudende klei, die onder de juiste condities in staat moet zijn om voldoende fosfaat te binden.

Ruigenhoek

Gezien de ongunstige conditie van de onderwaterbodem en de ongunstige dimensies van de fortgracht achten wij het niet zinvol om hier te streven naar een rijke onderwaterplantenvegetatie. Wel kan het een doel zijn om de algenoverlast voor het zwembad terug te dringen. Door zo veel mogelijk de bomen op de oever te kappen kan de fosfaataanvoer worden verminderd en zal ook het zuurstofverbruik van de onderwaterbodem aanzienlijk dalen. De blauwwierenbloei kan vervolgens doorbroken worden door herhaalde malen beperkte doses ijzer toe te dienen aan de waterlaag. Indien zowel de algenbloei als de bladval sterk is gereduceerd, zal het zuurstofverbruik van de onderwaterbodem sterk dalen. Gecombineerd met de ijzeradditie zal hierdoor het fosfaatbindend vermogen van de bodem juist sterk toenemen.

Een complicerende factor is de vrij grote hoeveelheid zwavel in de onderwaterbodem. Deze kan door bij een verbeterde doorluchting omgezet worden in sulfaat, dat naar de waterlaag diffundeert. Indien er periodiek waterafvoer plaatsvindt uit de fortgracht, zou er hiermee ook een netto zwavelafvoer kunnen worden gerealiseerd. Indien dit niet gebeurt zal het zwavel de fosfaatbinding door ijzer negatief blijven beïnvloeden.

Vechten

De belangrijkste oorzaak van het ontbreken van een goede waterplantenvegetatie lijkt ook hier een combinatie te zijn van bladval en een grote diepte. De onderwaterbodem valt nooit droog, de zuurstofaanvoer via de waterlaag is beperkt en de zuurstofconsumptie is juist groot door de afbraak van invallend blad. De binding van fosfaat aan ijzer is onder de zuurstofloze omstandigheden gering en er komt fosfaat vrij bij de bladafbraak, zodat de

waterlaag vrij rijk is aan fosfaat. De waterlaag raakt troebel door algenbloei en de productie van humuszuren tijdens bladafbraak. De groei van waterplanten wordt hierdoor onmogelijk en de sedimentatie van afgestorven algen stimuleert de anaerobe condities op de bodem verder.

Door zo veel mogelijk de bomen op de oever te kappen kan de fosfaataanvoer worden verminderd en zal ook het zuurstofverbruik van de onderwaterbodem aanzienlijk dalen. Ook het verwijderen van de bodem op plaatsen waar deze slibrijk is zal de fosfaataanvoer verminderen. De blauwwierenbloei kan vervolgens doorbroken worden door herhaalde malen beperkte doses ijzer toe te dienen aan de waterlaag. Indien zowel de algenbloei als de bladval sterk is gereduceerd, zal het zuurstofverbruik van de onderwaterbodem sterk dalen. Ook zal de toegenomen windwerking de turbulentie vergroten en hiermee de zuurstofaanvoer naar de bodem. Hierdoor zal het fosfaatbindend vermogen van de bodem toenemen.

Verder is het mogelijk de bodemwoelende vis (Karper) uit de grachten te verwijderen, zogenaamd actief biologisch beheer. Hierdoor wordt de toevoer van fosfaat en humuszuren uit opgewoelde bodemdeeltjes verminderd en verbetert het doorzicht. Naar verwachting is het effect van deze maatregel echter beperkt. Uit de metingen blijkt dat de bodem voor het grootste deel uit een mineraal sediment bestaat. Bovendien zorgt het bodemwoelen ook voor enige doorluchting van het sediment.

Het combineren van bovengenoemde maatregelen kan genoeg zijn om het water in een heldere staat te brengen. Wanneer ook ondiepere gedeeltes worden gecreëerd is het mogelijk dat de groei van de onderwatervegetatie voldoende wordt gestimuleerd, mits er voldoende zaden of plantendelen in het systeem aanwezig zijn. Omdat de dimensies van de gracht echter niet worden gewijzigd en er een zekere mate van bladval aanwezig blijft, blijft er altijd een aanzienlijk risico bestaan op een terugkeer naar de huidige situatie.

Wanneer het water in de fortgrachten helder wordt, zijn de groeimogelijkheden het beste voor vrij zwevende waterplanten. Deze hoeven immers niet op de diepe, donkere onderwaterbodem te wortelen. In sterk gebufferd en tamelijk fosfaatrijk water zal vooral Hoornblad (*Ceratophyllum*) zich uitbreiden, een soort die ook bicarbonaat kan gebruiken als koolstofbron

Rhijnauwen

Het sediment in de fortgracht van Rhijnauwen is plaatselijk ijzerrijk. Op dit moment bindt het sediment echter geen fosfaat omdat het sediment voortdurend een te lage redoxpotentiaal heeft. Dit kan worden bestreden door eventuele sliblagen te baggeren en door bladval zo veel mogelijk te voorkomen. Baggeren zonder aanvullend kapbeheer op de oever lijkt weinig zinvol. Zelfs in het meest gunstige geval zullen ondergedoken waterplanten zich beperken tot de minder diepe delen. Ook het verwijderen van bodemwoelende vis zoals karper kan het doorzicht verbeteren. Het combineren van deze maatregelen kan genoeg zijn om het water in continue heldere staat te brengen. Wanneer ook ondiepere gedeeltes worden gecreëerd is het mogelijk dat de groei van de onderwatervegetatie voldoende wordt gestimuleerd, mits er voldoende zaden of plantendelen in het systeem aanwezig zijn.