





Cyanotoxines drijven tot overlast

Inventarisatie van microcystineconcentraties
2000 – 2004 in Nederlandse oppervlakte wateren

RIZA werkdokument 2005.057x

In opdracht van:

Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA)

Gefinancierd door:

RIZA en Stichting Technische Wetenschappen (STW); proj. nr.: ACH 4874

Auteurs:

W. Edwin A. Kardinaal & Petra M. Visser

Instituut voor Biodiversiteit en Ecosysteem Dynamiek / Aquatische Microbiologie

Universiteit van Amsterdam

Nieuwe Achtergracht 127

1018 WS Amsterdam

edwin.kardinaal@science.uva.nl

pvisser@science.uva.nl

Datum uitgave:

Maart, 2005

Inhoudsopgave

Samenvatting

1.	Inleiding	1
1.1	Drijfslagen	1
1.2	Inventarisatie van cyanotoxines in Nederland	2
1.3	Doelstellingen	4
1.4	Aanpak	5
2.	Dataverzameling en opzet database	6
2.1	Microcystinegegevens van watermonsters	6
2.2	Microcystinegegevens van drijfslagen	7
2.3	De Database	8
2.3.1	Opzet van de database CYANONed	8
3.	Resultaten	12
3.1	Microcystinemetingen in watermonsters 2000 – 2004	12
3.2	Microcystinemetingen in drijfslagen 2000 - 2004	14
3.3	Omgevingsfactoren en microcystinedynamiek: gebruik van CYANONed	17
4.	Discussie	19
4.1	Metingen in watermonsters	19
4.2	Metingen in drijfslagen	20
4.3	Database CYANONed	21

Referentielijst

Samenvatting

Overmatige bloei van cyanobacteriën in brakke en zoetwatersystemen veroorzaakt wereldwijd problemen voor mens en dier. De problemen worden veroorzaakt door twee eigenschappen van een aantal pelagische cyanobacteriegenera: ze zijn in staat massaal aan de oppervlakte te accumuleren en ze kunnen toxische stoffen produceren die schadelijk kunnen zijn voor de volksgezondheid en het functioneren van ecosystemen. Microcystines zijn tot dusver geïdentificeerd als de meest wijdverbreide toxines en kunnen geproduceerd worden door de genera *Anabaena*, *Microcystis* en *Planktothrix*. Allen zijn genera die voor kunnen komen in Nederlandse meren en plassen en andere zoetwatersystemen. Het genus *Aphanizomenon* is wel in staat drijfslagen te vormen maar slechts weinig bekend als microcystine producent.

Het laatste grote onderzoek dat zich gericht heeft op microcystine productie in veel recreatiewateren in Nederland dateert uit 1998-1999 (STOWA, 2000). Sinds het jaar 2000 loopt er een wetenschappelijk programma, DYNATOX, dat zich gericht heeft op de cyanobacterie- en cyanotoxinedynamiek in een beperkt aantal meren tussen 2000 en 2002. Een integraal overzicht van hoe de Nederlandse situatie is met betrekking tot microcystineconcentraties over de laatste 5 jaar ontbreekt.

De centrale vraag in dit verslag is dan ook: hoe (gevaarlijk) is de Nederlandse situatie met betrekking tot het voorkomen van cyanobacteriën en de door hen geproduceerde toxines?

Om deze vraag te beantwoorden zijn alle grote waterkwaliteitsbeheerders gevraagd hun microcystinegegevens aan te leveren. Tot dusver heeft deze verzameling 1400 datapunten van microcystinemetingen in water en 144 metingen in drijfslagen opgeleverd. Alle microcystinedata zijn vastgelegd in een database (CYANONed). De database zal in de toekomst uitgebreid gaan worden met andere chemisch, fysische en biologische parameters.

Merendeel van de metingen zijn afkomstig van het Volkerak Zoommeer, waardoor de meeste metingen verricht zijn in de provinciën Zeeland en Zuid-Holland, beide grenzend aan dit meer. Er zijn relatief weinig metingen verricht in de provincies Groningen, Drenthe, Gelderland en Overijssel. Het zwaartepunt van het aantal metingen ligt in het jaar 2003, er werden 2 keer zoveel metingen verricht als in overige jaren. In hetzelfde jaar werden eveneens de meeste drijfslagen bemonsterd.

Wat betreft de hoogte van de gemeten microcystineconcentraties was 2003 opnieuw een uitzonderlijk jaar. In totaal werden 51 metingen verricht waarvan het resultaat hoger was dan 20 µg/L, wat gehanteerd wordt als de richtlijnconcentratie voor microcystines. In voorgaande jaren gebeurde dat vier tot tien keer. Ook in 2004 bleef het aantal overschrijdingen van de richtlijn hoog (37 metingen).

Wat betreft de drijfslagen was er in 2003 en 2004 niet echt een verhoging van concentraties waar te nemen. Wel wordt duidelijk dat microcystineconcentraties in drijfslagen de richtlijn honderden keren kunnen overschrijden: het daadwerkelijk gevaar lijkt dan ook te schuilen in de drijfslagen. Toch zijn er ook drijfslagen bemonsterd waarin geen hoge microcystine concentraties zijn aangetroffen. Mogelijk dat de definitie van drijfslagen, de methode van bemonsteren en / of analyseren van drijfslagen en het nader bestuderen van de soortsaamenstelling van de drijfslagen, de lage concentraties kunnen verklaren.

In het vervolg van dit onderzoek zal in ieder geval aan het laatste punt verder aandacht besteed gaan worden, net als aan de eventuele sturende factoren van de cyanobacteriebloei en de daarmee gerelateerde microcystine productie.

1. Inleiding

Cyanobacteriën komen voor in tal van natuurlijke habitats, variërend van heetwaterbronnen tot koraalriffen, geassocieerd met mossen tot in meren en estuaria. Het zijn vooral in de laatste twee habitats waarin cyanobacteriën massaal tot bloei kunnen komen en een scala aan problemen kunnen veroorzaken. De massale opeenhoping van biomassa kan leiden tot verminderd doorzicht en zuurstofloosheid bij afsterven met als gevolg dat vissen en ander waterleven dood gaat. Behalve de massale bloei alleen zijn de cyanobacteriegenera *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis* en *Planktothrix* in staat stoffen te produceren die toxisch zijn voor mens en dier. De toxines die geproduceerd kunnen worden zijn onder andere microcystines, anatoxines en saxitoxines. Aanraking of inslikken van (grote) hoeveelheden cyanobacteriën en / of cyanotoxines kan leiden tot huidirritaties, braken, leverschade, verlamming of zelfs de dood. De laatste 20 tot 30 jaar zijn er tal van incidenten geweest waarbij dieren en /of mensen slachtoffer zijn geworden van de massale bloei van cyanobacteriën en de productie van cyanotoxines in meren. Hoewel de eerste voorbeelden van dierversgiftiging als gevolg van toxische cyanobacteriën al dateert uit 1878, is het sinds de tachtiger jaren van de vorige eeuw dat onderzoek naar toxische cyanobacteriën geïntensiveerd werd. De reden hiervoor was tweeledig: enerzijds was er in toenemende mate sprake van massale cyanobacteriebloei als gevolg van eutrofiëring, anderzijds waren de technieken voor het meten van cyanobacterietoxines aanzienlijk verbeterd.



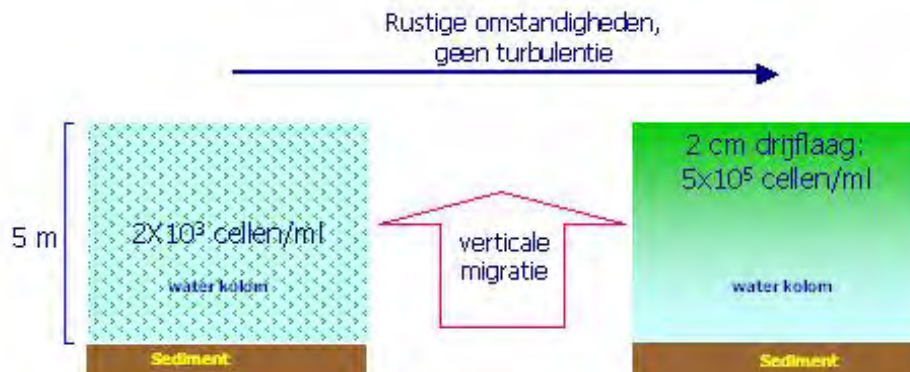
Figuur 1. Voorbeeld van een drijfslag, inclusief een mogelijk slachtoffer. Foto is genomen in de Kagerplassen, 't Joppe, 2001 (Foto: Tejo Scholten).

1.1 Drijfslagen

Veel van de potentieel toxineproducerende cyanobacteriën zijn tevens in staat hun positie in de waterkolom te reguleren. Met behulp van intercellulaire gasvacuole (kleine holtes gevuld met lucht) en het accumuleren en verbruiken van koolhydraten (ballast) kan een ideale positie in de waterkolom gevonden worden waar omgevingsfactoren ideaal zijn voor de groei (Kromkamp & Mur, 1984). Zolang een meer gemengd wordt, bijvoorbeeld onder invloed van

wind, worden dit soort bewegingen door cyanobacteriën verstoord en blijven de cellen verdeeld over het gemengde deel van de waterkolom. Onder rustige (weers)omstandigheden zijn cyanobacteriën echter in staat om (soms binnen een aantal uren) te accumuleren aan de oppervlakte van een meer en daar zogenaamde drijfslagen (figuur 1) te vormen.

In figuur 2 wordt schematisch geïllustreerd hoe een op het eerste oog onschuldige cyanobacterie bloei onder ideale (weers) omstandigheden kan uitgroeien tot een drijfslaag waarin cellen van potentieel toxineproducerende soorten kunnen accumuleren aan het wateroppervlak. Het gevolg is dat microcystineconcentraties tot 10.000 µg/L kunnen oplopen. Dit soort (weers) omstandigheden kwamen Nederland in het jaar 2003 frequent voor. Dit heeft geleid tot een grote toename in het aantal bemonsterde drijfslagen.



Figuur 2. Illustratie van het mechanisme van het ontstaan van drijfslagen uit een onschuldig lijkende bloei van (potentieel) toxische soorten cyanobacteriën. Dit figuur is een visualisatie van een rekenvoorbeeld uit Oliver & Ganf (2000).

1.2 Inventarisaties van cyanotoxines in Nederland

In Nederland werd er in het begin van de jaren tachtig voor het eerst onderzoek gedaan naar de toxiciteit van massale bloei van cyanobacteriën. In een studie van Leeuwangh *et al.* (1983) wordt melding gemaakt van de acute toxiciteit van cyanobacterie-ge domineerde oppervlakte bloeien in een aantal meren in Nederland. De testen, destijds nog uitgevoerd met muizen, toonden aan dat er in *Microcystis* gedomineerde bloeien acute vergiftiging optrad in de testdieren. Er werden eveneens schadelijke effecten gevonden in meren met een *Planktothrix*-dominantie. Na deze studie is er in Nederland tot halverwege de jaren 90 (AquaSense, 1996; Burger-Wiersma & Versteegh, 1994) geen degelijk (wetenschappelijk) onderzoek meer uitgevoerd naar de toxiciteit van door cyanobacteriën gedomineerde bloeien. Wel is er veel onderzoek geweest naar het verstoren van cyanobacterie dominantie, wat geleid heeft tot bijvoorbeeld een artificiële menginstallatie in het Nieuwe Meer (Amsterdam) (Visser *et al.* 1996) en tal van meerhersteloperaties (Meyer *et al.*, 1999).

In 1998 werd er een grootschalige studie opgezet in Nederlandse meren om inzicht te krijgen in de cyanobacterie-problematiek en de door hen geproduceerde toxische stoffen. De studie beschrijft de geografische verspreiding en de temporele variatie van cyanobacteriën en cyanotoxines in Nederlandse wateren (STOWA, 2000). In 83% van de 48 onderzochte locaties bleken potentieel toxische genera voor te komen. In 77% van de locaties werden microcystine gehalten aangetroffen die hoger waren dan 1 µg/L, wat volgens de WHO de richtlijn is voor drinkwater. In 21% van de locaties werd de concentratie van 20 µg/L (de richtlijn voor recreatiewater) benaderd of overschreden. Andere cyanotoxines dan microcystine werden niet aangetroffen. De ontwikkeling van microcystine-producerende cyanobacteriën was pas waarneembaar vanaf juli, met maxima in augustus of september. De bevindingen hebben geleid tot een eerste aanzet voor een beslisboom in het geval er

cyanobacteriën aangetroffen worden in een meer. Dit heeft geleid tot een advies van de Commissie Integraal waterbeheer (Leidraad monitoring, maart 2001).

De uitkomsten van het STOWA rapport en de internationale ontwikkelingen op het gebied van de cyanobacteriële toxineproductie leidden in het jaar 2000 tot het starten van het DYNATOX project. Een samenwerkingsverband tussen Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek / Centrum voor Limnologie (NIOO-CL) en de afdeling Aquatische Microbiologie van de Universiteit van Amsterdam (UvA/IBED/AMB), met als voornaamste doelen:

- Identificatie van soorten en stammen cyanobacteriën die verantwoordelijk zijn voor cyanotoxineproductie in Nederlandse wateren.
- Het verkrijgen van inzicht in de dynamiek van toxineproductie en de bloei van (potentieel) toxische cyanobacteriën
- Het ontwikkelen van methodieken voor vroegtijdige detectie van toxineproducerende cyanobacteriën

Binnen het project DYNATOX zijn tussen 2000 en 2002 een klein aantal meren intensief gevolgd. De bevindingen uit het STOWA rapport met betrekking tot de microcystinedynamiek konden grotendeels worden bevestigd. Microcystinepieken in *Microcystis*-gedomineerde meren werden voornamelijk waargenomen tussen half augustus en eind september. In *Planktothrix*-gedomineerde meren (Tjeukemeer, Zandwinplas Voorhofpolder) werden de hoogste microcystinewaardes gevonden aan het begin (mei) en aan het eind (september-oktober) van het bloeiseizoen. Tijdens dominantie van *Anabaena* en / of *Aphanizomenon* werden geen microcystines gevonden. Isolaten van de verschillende genera bevestigen dat inderdaad *Microcystis* en *Planktothrix* de voornaamste microcystine-produceerders zijn. Tevens is er van veel soorten en stammen genetische informatie verzameld. Deze informatie wordt op dit moment gebruikt voor het opzetten van een gevoelige analysemethode die gebruikt kan worden om (potentieel) toxische stammen in een vroeg stadium op te sporen (Janse *et al.* 2003; 2004).

De afgelopen jaren waren er vele meldingen van cyanobacteriebloei en de daarmee gepaard gaande incidenten (figuur 3). Het meest recente incident dat in verband gebracht werd met cyanotoxineproductie was de grootschalige sterfte van vogels in Volkerak Zoommeer waar enkele geteste vogels grote hoeveelheden microcystine bleken te bevatten (Pflugmacher *et al.*, 2004) Ook in het jaar 2003 werd een massale vogelsterfte in de Oostvaardersplassen in verband gebracht met een cyanobacteriële bloei. Tot dusver gaat het hier om onbevestigde vermoedens.

De zomer van 2003 behoorde tot één van de warmste zomers van de laatste eeuw, met lange perioden van warm en windstil weer, ideale omstandigheden voor cyanobacteriebloei. Deze waarnemingen riepen vanuit het Cyanobacteriën-overleg (met vertegenwoordigers van IPO, NIOO-CL, RIVM, RIZA, STOWA, UvA en enkele waterkwaliteitbeheerders) de vraag op of de weersomstandigheden geleid hadden tot meer overschrijdingen van de microcystine-richtlijnen. Dit heeft geleid tot een Quick scan van microcystineconcentraties zoals die in 2003 gemeten waren in heel Nederland (Krot & Visser, 2003). Van de diverse waterkwaliteitsbeheerders zijn resultaten van 372 metingen ontvangen. Van dat aantal metingen waren er 33 hoger dan de 20 µg/L grens. Er bestond echter wel enige twijfel of het getal 33 betrouwbaar is. Bij navraag bleek dat de extractiemethodes (sinds het grootste deel van microcystine celgebonden is en de microcystines uit de cel geëxtraheerd dienen te worden) nogal uiteen liepen en in een aantal gevallen mogelijk onvoldoende zijn geweest. De meeste drijfslagen in 2003 werden begin augustus aangetroffen. De concentraties microcystine in deze drijfslagen waren in enkele gevallen zeer hoog.



Figuur 3. Enkele krantenberichten in relatie tot cyanobacteriebloei in de periode 2000-2003.

1.3 Doelstellingen

De Quick scan (Krot & Visser, 2003) gaf een indicatie van de cyanotoxineproblematiek in Nederland in het jaar 2003, maar de vraag of 2003 wat betreft de cyanotoxineconcentraties een extreem jaar was bleef nog open. Onder andere om antwoord te geven op deze vraag is een uitgebreidere inventarisatie opgestart, waarvan de resultaten gepresenteerd worden in dit verslag. Aan alle waterschappen en overige waterkwaliteitsbeheerders is gevraagd om microcystine data aan te leveren, die gemeten zijn in de periode van 2000-2004. Naast het aanleveren van microcystinedata is aan de waterbeheerders eveneens gevraagd zo mogelijk chemische en fysische data en gegevens over de fytoplanktonsoortensamenstelling te verstrekken van die systemen waarin (regelmatig) microcystines zijn aangetroffen. Deze inventarisatie heeft tot doel om drie vragen te beantwoorden:

- Hoe (gevaarlijk) is de situatie in de Nederlandse meren met betrekking tot de gemeten cyanotoxines?
- Welke genera van cyanobacteriën zijn verantwoordelijk voor de (hoge) microcystineconcentraties?
- Welke (omgevings)factoren bevoordelen de toxische cyanobacteriegenera?

In deze eerste rapportage van dit project wordt vooral antwoord gegeven op de eerste vraag. Resultaten van microcystinemetingen worden gepresenteerd per jaar en per provincie.

Zoals in 1.1. al uitgelegd werd, kunnen concentraties (van bijvoorbeeld microcystine) in drijfslagen de richtlijnen (max. 20 ug/L) honderden malen overschrijden indien de accumulatie

van cellen aan de oppervlakte bestaat uit toxineproducerende cellen. Het betreft hier dan geen verhoogde cellulaire microcystineconcentratie maar puur een opeenhoping van celmateriaal. Om deze reden waren drijflagen niet in het STOWA-rapport (2000) opgenomen. In dit rapport willen we wel aandacht besteden aan dit fenomeen om twee redenen:

- Om te benadrukken dat er gevaar schuilt in de drijflagen
- Om aan te geven dat ook in het geval van drijflagen microcystineconcentraties laag kunnen zijn.

In deze inventarisatie is daarom onderscheid gemaakt tussen monsters afkomstig uit de waterfase en uit drijflagen.

1.4 Aanpak

Om snel tot overzichtelijke resultaten te komen zijn alle microcystinedata vastgelegd in een database (Access). In dezelfde database zullen ook de omgevingsfactoren en, indien bepaald, de soortensamenstelling van het fytoplankton, opgenomen worden. Deze database kan als basis gaan dienen voor een centraal beheerde databank die alle gegevens betreffende cyanobacteriële toxineproductie in Nederlandse wateren verenigt. In dit rapport zal aangegeven worden hoe de database tot dusver opgezet is en welke resultaten er in de toekomst uitgehaald kunnen worden. Wanneer deze database compleet is kan er aandacht besteed worden aan de grotere verbanden tussen microcystine en cyanobacteriën enerzijds en chemische / fysische parameters anderzijds. Hieraan zal in het vervolgproject, in de eerste helft van 2005, aandacht besteed worden.

2. Dataverzameling en opzet database

Voor het verkrijgen van de microcystinegegevens en overige data zijn alle waterschappen die belast zijn met waterkwaliteitsbeheer, de directies van Rijkswaterstaat en de provincies aangeschreven. De hieronder gepresenteerde resultaten van de microcystinemetingen door de jaren heen zijn gebaseerd op gegevens die verkregen zijn van een 20-tal water- en hoogheemraadschappen en drie directies van Rijkswaterstaat.

2.1 Microcystinegegevens van watermonsters

Een groot deel van de data is afkomstig van meren uit de beheersgebieden van hoogheemraadschap Rijnland en wetterskip Fryslan. Beide waterschappen waren betrokken bij het monitoringsprogramma (2000 – 2002) van het DYNATOX project, daarnaast hebben deze waterschappen zelf veelvuldig gemeten.

De Drentse waterschappen Reest & Wieden, Velt & Vecht, het waterschap Regge & Dinkel (Overijssel) en het waterschap Zeeuwse eilanden hebben aangegeven dat ze geen microcystines gemeten hebben over de laatste vijf jaren. Het waterschap Zeeuws Vlaanderen heeft in begin augustus 2003 wel een enkele microcystinemeting verricht in een door *Anabaena* gedomineerde kreek (Otheense Kreek), maar kon niet exact aangeven wanneer de metingen verricht waren. De analyseresultaten bleven beneden de detectiegrens (1 µg/L).

Naast de water- en hoogheemraadschappen zijn de verschillende directies van Rijkswaterstaat kwaliteitsbeheerder van een groot aantal Nederlandse wateren. Van deze directies hebben directie Zuid-Holland (RDZ), Directie IJsselmeer (RDIJ) en Directie Zeeland (RDZ) een bijdrage geleverd. De overige directies hebben geen microcystinemetingen verricht (directies Noord-Holland en Noord) of zijn niet bereikt. RDZ is onder andere de beheerder van het Volkerak Zoommeer. In dit meer is de laatste vijf jaar op vijf locaties intensief gemonsterd, zowel in de waterfase als in drijfslagen. Ook binnen het DYNATOX programma zijn van twee jaren microcystinegegevens verzameld in dit meer. Van de 1400 analyseresultaten die in dit onderzoek beschouwd worden zijn er 371 (27 %) afkomstig van dit watersysteem. Over het algemeen zijn de microcystinemetingen zijn veelal verricht in zwemwater, maar ook tijdens jaarlijkse screenings (Fryslan 2000 - 2003) en tijdens monitoringsprogramma's (DYNATOX, Volkerak Zoommeer) op andere monsterpunten.

De inventarisatie heeft tot dusver geresulteerd in 1400 microcystineconcentraties in de laatste vijf jaar (zie ook tabel 1), gemeten op 210 locaties. Als basis voor de jaren 2000-2002 is gebruik gemaakt van de gegevens zoals die in een negental meren zijn verzameld binnen het DYNATOX project.

Tabel 1. Aantal microcystinemetingen per jaar die zijn verkregen van water- en hoogheemraadschappen en directies van Rijkswaterstaat van verschillende monsterpunten in hun beheersgebieden.

Jaar	Aantal metingen in water	Aantal metingen in drijfslagen
2000	188	19
2001	235	21
2002	206	26
2003	485	50
2004	287	29

2.2 Microcystinegegevens van drijfslagen

De laatste vijf jaar zijn er tot dusver 144 analyses gerapporteerd, die bemonsterd zijn op 43 locaties in 34 meren / plassen (tabel 2). Opnieuw is een groot deel van de metingen afkomstig van het Volkerak Zoommeer (88 metingen). Duidelijk wordt dat in 2003 en 2004 veel drijfslagen bemonsterd zijn. Veel waterschappen meldden dat er voorafgaand aan seizoen 2003 sowieso geen microcystinemetingen werden verricht.

Tabel 2. Overzicht van de meren waarin de laatste vijf jaar microcystinemetingen zijn verricht in drijfslagen. De aantallen in de verschillende jaren geven het aantal metingen weer.

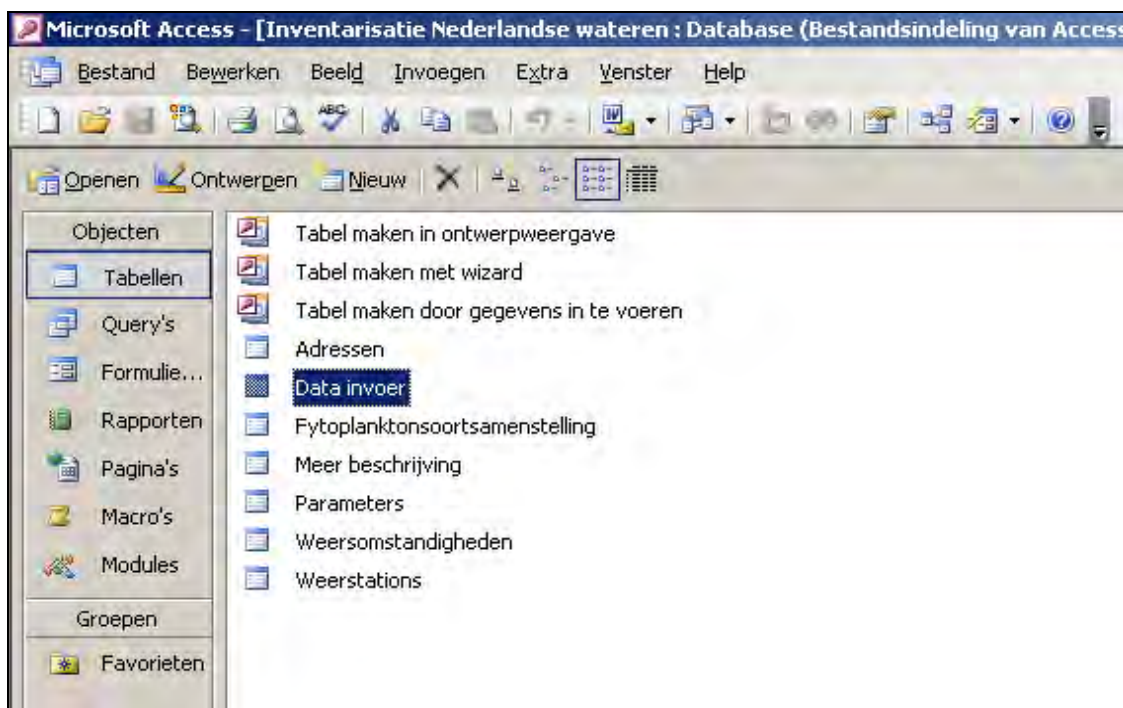
Meer	Omschrijving monsterpunt	Provincie	2000	2001	2002	2003	2004
De Ploeg	Stadswater	Br				1	
Kuil	Vanaf steiger Z/W zijde	Br				1	
Camping De Watermolen	Camping De Watermolen	Fr				1	
Fluessen	Elahuizen	Fr				1	
Groote Wielen	Groote Wielen	Fr					1
Heegermeer	Indijk	Fr				2	
Smalle Eesterzanding	Smalle Eesterzanding	Fr					1
Sneekmeer	De Potten	Fr				1	
Sneekmeer	Terhorne	Fr				1	
zandput 30	zandput 30	Fr				1	
Zoutepoel De Domp	Zoutepoel De Domp	Fr				1	
Arkervaart	overstort havenkom	Gld			1		
Hambroek	Zwemzone	Gld		1			
Douvesbeemd	camping Barten/Niessen	Li					2
Alkmaardermeer	de Horne (recreatiewater)	NH				1	
Gaasperplas	strand zuidoever	NH				1	
IJsselmeer	Enkuizerzand recreatiepark	NH			1		
IJsselmeer	Wervershoof Onderdijk	NH			1		
Jagersplas	strand zuid (Smient)	NH				2	
Jagersplas 1	Watersnip	NH				1	2
Jagersveld, 'de Kuifeend	Jagersveld, 'de Kuifeend	NH				2	1
Ouderkerkerplas	Groenstrand	NH				1	1
Ouderkerkerplas	Zandstrand	NH				2	
Recreatieplas	Zuidelijk strand	NH				1	
Sloterplas	Sloterplas West	NH				1	
Twiske	Speelsloot	NH				1	
Ursemmerplas	Ursemmerplas	NH				1	
Zwaansmeer	Zwemplaats	NH				1	
de Rietplas	de Rietplas	Ut				1	
Plas Strijkviertel oost	Plas Strijkviertel oost	Ut				1	
Vinkeveense plas	zandeiland 4-5	Ut					1
Zwembad de Kikker	Zwembad de Kikker	Ut				1	
Zwemlust	Zwemlust	Ut				4	3
Volkerak-Zoommeer	Krammersluizen	Ze	11				
Volkerak-Zoommeer	Kreekraksluis	Ze				2	2
Volkerak-Zoommeer	Oesterdam	Ze	3	5	6	2	3
Volkerak-Zoommeer	Ooltgensplaat	ZH	1	3	10	6	4
Volkerak-Zoommeer	Oude Tonge	ZH	4	5	7	8	3
Volkerak-Zoommeer	Steenbergen	ZH		3			
Dobbeplas	uitlaat noordzijde	ZH					1
Kagerplassen, t Joppe	Midden op het meer	ZH		4			
Oosterpark vijver	Recreatieplas Oosterpark	ZH					1
Oosterparkvijver	Oosterparkvijver	ZH					2
Totaal			19	21	26	49	29

2.3 De Database

Over het ontstaan van massale bloei van cyanobacteriën zijn al heel wat (wetenschappelijke) artikelen verschenen. Er bestaan vele hypothesen waarom cyanobacteriën in staat zijn tot dominantie van zoetwatermeren. Over het algemeen bestaat het idee dat niet een enkele factor, maar meerdere factoren van invloed zijn op het massaal tot bloei komen van de cyanobacteriën (Kardinaal & Visser, 2005). De microcystine gegevens zoals die in hoofdstuk 3 gepresenteerd worden kunnen niet los gezien worden van de cyanobacteriebloei zelf: zonder cyanobacteriën geen microcystines. Het is daarom van belang om ook voor de Nederlandse situatie te achterhalen welke factoren vooral bijdragen aan de dominantie van cyanobacteriën in de Nederlandse meren.

Om inzicht te krijgen in de mogelijke sturende factoren worden er binnen dit project naast microcystinegegevens ook zoveel mogelijk chemische, fysische en biologische (cyanobacteriesoortensamenstelling en – biomassaschattingen) gegevens verzameld. Dit betekent dat indien er voor elk microcystine monsterpunt aanvullende data aangeleverd worden de datahoeveelheid snel onoverzichtelijk groot wordt. Om de data hanteerbaar te houden zullen alle mogelijke sturende factoren in een Access database opgenomen worden. De database zal voorlopig de titel **CYANONed** meekrijgen. Het idee is om op termijn de database toegankelijk te maken voor andere gebruikers zodat op een snelle wijze inzicht verkregen kan worden welke meren risicomeren zijn met betrekking tot cyanobacteriebloei en wat de mogelijke factoren zijn waarop gelet dient te worden door eventuele waterkwaliteitsbeheerders.

2.3.1. Opzet van de database CYANONed



Figuur 4. Tabellen zoals die gedefinieerd zijn in de Database CYANONed

De tabellen Uitgangspunt van de CYANONed database is dat het makkelijk te doorgronden moet zijn voor eventuele databeheerders en gebruikers. Vandaar dat gekozen is voor een beperkt aantal tabellen (figuur 4). De datatabel 'Data invoer' is de centrale tabel van de database, hierin komen alle microcystineconcentraties en chemische en fysische gegevens te

staan. Er is een aparte tabel aangemaakt voor de soortensamenstelling van de onderzochte meren, met daarin gegevens over soortensamenstelling en dominantie van soorten. Tevens is er een tabel opgenomen met weersomstandigheden, gemeten van dag tot dag op zes weerstations door Nederland. De daggegevens zijn verkregen van de vrij toegankelijke database van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). In de tabel ‘Organisatie’ staan de gegevens van de waterkwaliteitsbeheerders en de contactpersonen die bijgedragen hebben aan deze inventarisatie.

De parameters Een overzicht van die gegevens die per datatabel ingevoerd zijn staat in tabel 3. In de datatabellen ‘Data invoer’, ‘Meerbeschrijving’ en ‘Fytoplanktonsoortensamenstelling’ zijn *Meer* en *Omschrijving monsterpunt* opgenomen. De combinatie van deze twee gegevens maken elke meetlocatie uniek. In de datatabel ‘Meerbeschrijving’ worden de meetpunten nader omschreven. Gegevens als meeroppervlakte, maximale diepte en gemiddelde diepte kunnen bijvoorbeeld indicaties geven over fytoplanktonsoortensamenstelling en nutriëntenbeschikbaarheid.

Tabel 3. Overzicht van de gegevens zoals die in de verschillende datatabellen opgenomen worden

Meer beschrijving	Data invoer	Fytoplanktonst. samenst.	Weersomstandigheden	Adressen
Meer	Meer	Meer	Weerstation	Organisatie
Omschrijving monsterpunt	Omschrijving monsterpunt	Omschrijving monsterpunt	Datum	Voorvoegsels
Code Monsterpunt	Datum monstername	Datum monstername	Windrichting	Achternaam
Gemeente / Polder	Parameter	Hoofdgroep	Gem Windsnelheid	Adres
Organisatie	Eenheid	Genus	Gem Luchttemp	Postcode
Provincie	Numerieke waarde	Soortnaam	Max Luchttemp	Plaats
Weerstation	Teken	Numerieke waarde	Min Luchttemp	Telefoon direct
X coördinaat	Tekstwaarde	teken	Zonneschijnduur	e-mail
Y coördinaat	Juliaanse tijd	Tekstwaarde	Perc van mog zonneschijn	Telefoon algemeen
Oppervlakte		Juliaanse tijd	Neerslag duur	Website
Gem diepte			Neerslag hoeveelheid	
Max diepte			Bewolking	
Origine				
Trofie nivo				
Gebruik				
Plattegrond				
Foto				

In de datatabel ‘Data invoer’ komen de verzamelde fysische en chemische gegevens te staan. Een compleet overzicht van de gewenste parameters staat in tabel 4. In deze datatabel staat ook de Juliaanse tijd (dag van het jaar). Met behulp van deze parameters kunnen parameters van verschillende jaren over elkaar geplot worden. Het samenvoegen van verschillende jaren kan inzicht geven in trends in bijvoorbeeld microcystine dynamiek. In de datatabel ‘Fytoplanktonsoortensamenstelling’ staan gegevens over het voorkomen van soorten, uitgesplitst per hoofdgroep (bijv. Cyanophyceae, Chlorophyceae, etc.), genera en indien aanwezig soortnaam, de numeriek waarden gaan indicaties geven over dominantie. De diversiteit van de aangeleverde data afkomstig van de verschillende waterschappen, maken dat hier nog een algemeen geldende waarde geformuleerd moet worden.

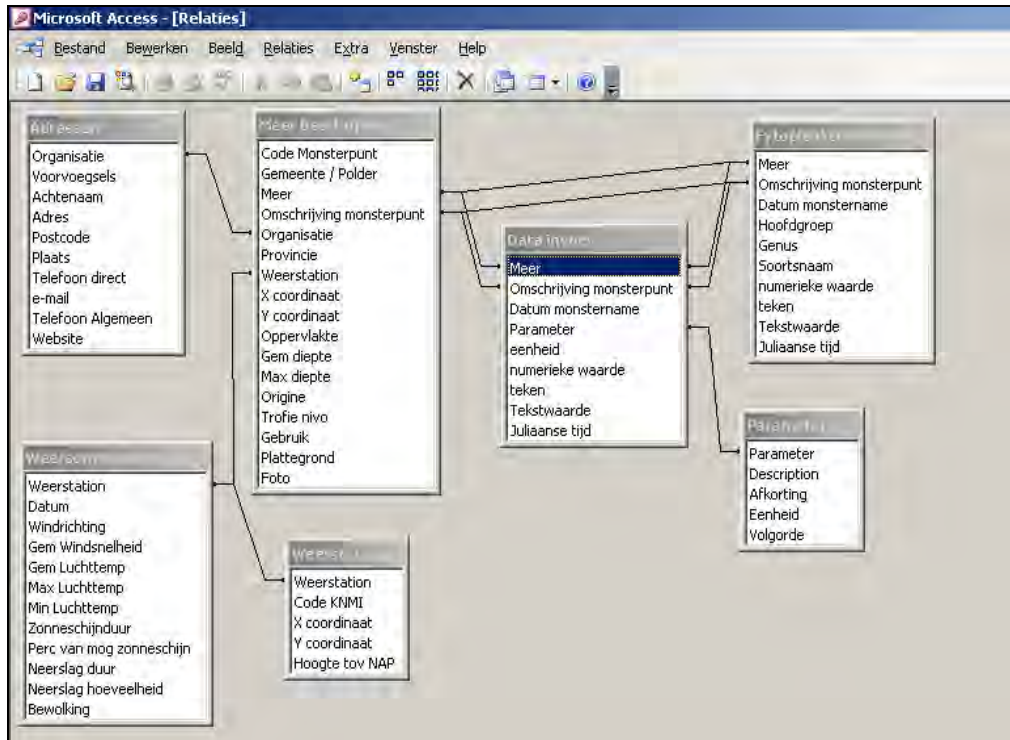
In de datatabel ‘Weersomstandigheden’ staan de dagelijkse gegevens van een zestal weerstations van het KNMI, die verspreid zijn door het land. De weerstations staan in Eelde (voor noord Nederland), De Bilt (centraal Nederland), Den Helder (noord-west Nederland), Maastricht (zuid Nederland), Twenthe (oost Nederland) en Vlissingen (voor zuid-west

Nederland). Elke monsterlocatie op een meer is gekoppeld aan het dichtsbijgelegen weerstation. De gegevens die in de datatabel opgenomen zijn, zijn gegevens als windsnelheid en –richting, regenval, zonneshijn etc.; stuk voor stuk parameters die van invloed kunnen zijn op cyanobacteriegroei en de vorming van drijflagen.

Tabel 4. Parameters zoals die in de tabel ‘Data invoer’ opgenomen worden.

Parameter	Eenheid	Parameter	Eenheid
Ammoniak-N (berekend)	mg/l	Microcystine in drijflaag	µg/l
Ammonium-N	mg/l	Nitraat-N + Nitriet-N	mg/l
Anatoxine	µg/l	Nitriet-N	mg/l
Chloride	mg/l	Phaeofytine	mg/m3
Chlorophyl	mg/m3	Stikstof Kjeldhal	mg/l
Doorzicht	m	Stikstof-totaal	mg/l
Extinctie coefficient	l/m	Temperatuur	°C
Fosfaat P-Ortho	mg/l	Zuurgraad	
Fosfaat P-totaal	mg/l	Zuurstof	mg/l
Ijzer-totaal	Mg/l	Zuurstofverzadiging	%
Microcystine	Mg/l		

De relaties In enkele van de bovenstaande tabellen zijn parameters dubbel opgenomen, zoals aangegeven om een locatie uniek te maken. Daarnaast geeft dit de mogelijkheid om tabellen te koppelen. Zodoende kan bijvoorbeeld van een bepaalde meetlocatie vlot achterhaald worden welk waterschap de waterbeheerder is en welke provincie er verantwoordelijk is in geval van eventuele calamiteiten. Het loskoppelen van de meetlocatie en het meer zelf heeft als voordeel dat de gegevens van twee meetpunten binnen hetzelfde meer makkelijk samen te voegen zijn. Dit vereenvoudigt het vergelijken van bijvoorbeeld incidentele microcystinemetingen met maandelijkse monitoring van fosfaatgegevens. In figuur 5 worden de relaties tussen de verschillende tabellen nog eens geïllustreerd. In deze figuur wordt duidelijk dat via de datatabel ‘Meerbeschrijving’ meerdata eenvoudig te koppelen zijn aan weerdata.



Figuur 5. Illustratie hoe de verschillende tabellen uit de database CYANONed gerelateerd zijn.

3. Resultaten

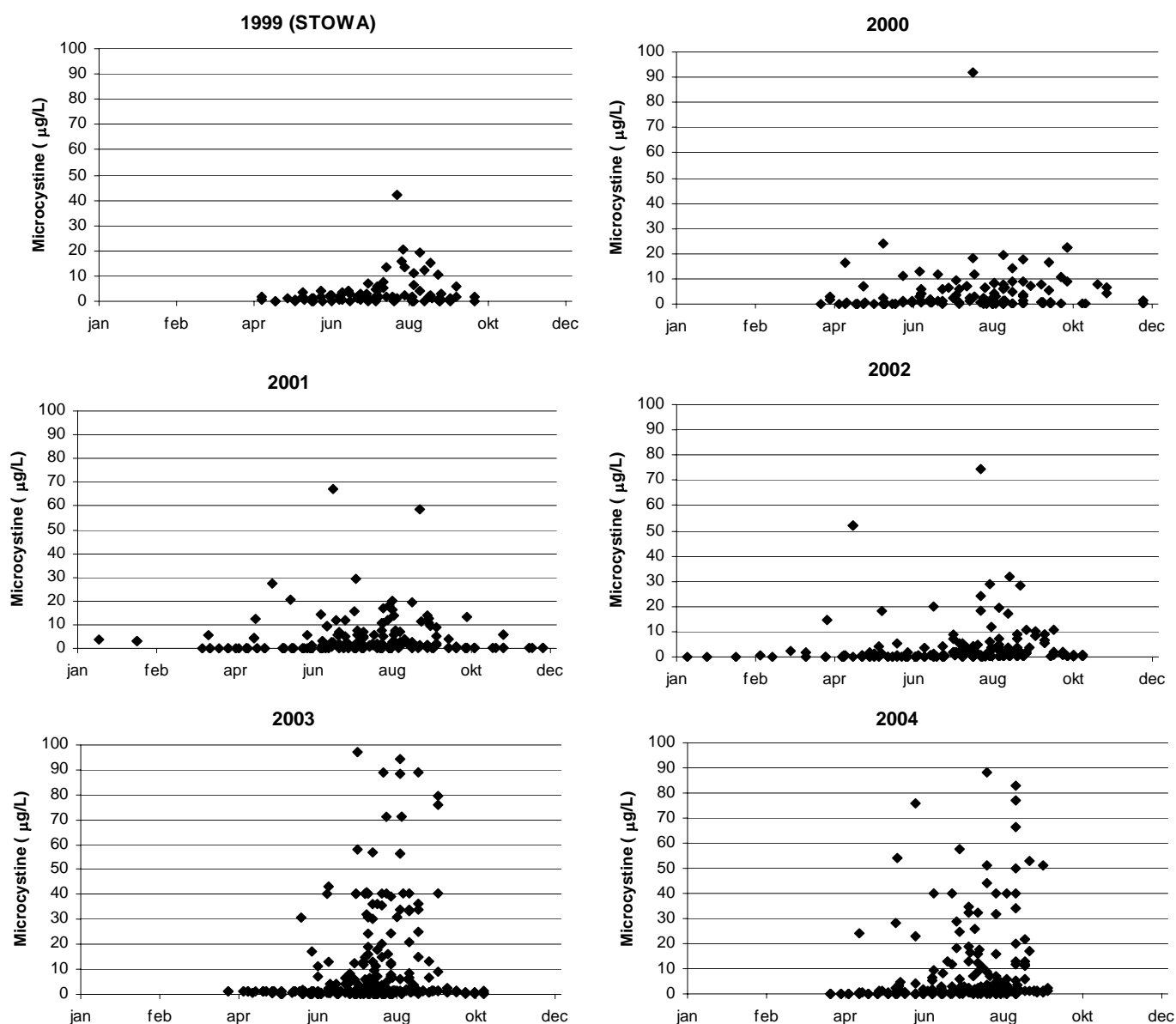
3.1 Microcystinemetingen in watermonsters 2000 – 2004

In vier van de vijf jaren die in dit onderzoek beschouwd worden varieert het aantal microcystinemetingen tussen de 180 en 290 metingen per jaar. In het jaar 2003 was het aantal metingen echter tweemaal hoger dan in andere jaren (485). Het verhoogde aantal bemonsteringen lijkt vooral geresulteerd te hebben in waarden die beneden de 1 µg/L waren, namelijk 70 % van de metingen tegen rond de 60% in andere jaren (tabel 5). Voordat het huidige CWI protocol (2001) in gebruik werd genomen (vanaf 2003) gold 10 µg/L als waarschuwingsgrens. Uit tabel 5 blijkt dat het aantal gemeten concentraties beneden de 10 µg/L ligt tussen de 81 tot 93 procent. Volgens het huidige CWI protocol wordt nu verhoogde alertheid geadviseerd bij waarden tussen 10 en 20 µg/L. Gedurende de jaren 2001, 2003 en 2004 zijn het vaakst dergelijke concentraties gemeten. In het jaar 2003 werd de, veilig geachte, concentratie van 20 µg/L het meest overschreden: 51 keer wat gelijk staat aan 11 % van de metingen. Ook in 2004 is 13 % van het totaal aantal metingen hoger dan de richtlijn voor recreatiewater. De trend dat microcystineconcentraties in de jaren 2003 en 2004 toe lijken te nemen in vergelijking met voorgaande jaren wordt ook geïllustreerd wanneer alle analyseresultaten per jaar geplot worden (figuur 6).

Tabel 5. Overzicht van het aantal microcystinemetingen gedurende de jaren 2000 tot en met 2004. De resultaten van de metingen zijn uitgesplitst op basis van richtlijnen zoals die gelden voor drinkwater (< 1 µg/L) en recreatiewater (> 20 µg/L). De grens van 10 µg/L gold voorheen als waarschuwingsgrens. Tussen haakjes staat het percentage van de uitslagen ten opzichte van het totaal aantal metingen in het betreffende jaar.

Jaar	Microcystine resultaten (µg/l)				Totaal aantal metingen
	≤ 1	>1 ≤ 10	>10 ≤ 20	> 20	
2000	93 (50)	79 (42)	12 (6)	4 (2)	188
2001	147 (63)	59 (25)	19 (8)	10 (4)	235
2002	121 (59)	70 (34)	9 (4)	6 (3)	206
2003	344 (70)	71 (15)	19 (4)	51 (11)	485
2004	162 (57)	70 (24)	18 (6)	37 (13)	287

Behalve dat er in 2003 meer resultaten hoger zijn dan de grens van 20 µg/L, lijken dit soort hoge waarden ook al eerder in het seizoen gevonden te worden. In de jaren 2001 en 2002 werden in april-mei slechts in de Zandplas Voorhofpolder (ook wel Klinkenbergerplas) hoge concentraties aangetroffen. Dit meer werd in die periode gedomineerd door de cyanobacterie *Planktothrix rubescens*. Van deze soort is bekend dat ze vroeg in het seizoen tot bloei komt en bovendien microcystine produceert. In de jaren 1999 en 2000 lijken de microcystineconcentraties rond de 20 µg/L te schommelen, met een enkele uitzondering in bijvoorbeeld de Oolderplas, Limburg (92 µg/L in het jaar 2000). In de jaren 2003 en / of 2004 worden in de plassen Zwemlust (Ut), Sloterplas (NH), Oolderplas (Li) en Oostmadeplas (ZH) al in begin juli concentraties gevonden die de richtlijn overschrijden. De soortensamenstelling van de cyanobacteriën in Zwemlust werd op dat moment vermoedelijk gedomineerd door *Anabaena*, van de Sloterplas is dit onduidelijk (er zijn geen fytoplanktonanalyses uitgevoerd). De Oolderplas werd gedomineerd door *Microcystis*. De Oostmadeplas werd op het moment van de hoge microcystineconcentratie gedomineerd door *Aphanizomenon* met een kleiner aandeel *Microcystis*. Latere metingen aan monsters, uit dezelfde Oostmadeplas, waarin geen *Microcystis* meer gevonden werd, geven microcystineconcentraties te zien die kleiner waren dan 1 µg/L.



Figuur 6. Microcystineconcentraties (in $\mu\text{g/L}$) zoals die in de jaren 2000-2004 gemeten zijn door waterkwaliteitsbeheerders in Nederland. De concentraties van 1999 zijn afkomstig uit het STOWA rapport 2000-20.

In de jaren 2003 en 2004 werden ook veel meer concentraties gevonden die 1 tot 5 keer zo hoog zijn dan de $20 \mu\text{g/L}$, met in 2003 de hoogste waarden in de Randmeren en het Volkerak Zoommeer. In het jaar 2003 bleven de hoge concentraties microcystine ook tot eind september aanhouden, terwijl in overige jaren de hoge concentraties na half september veelal verdwenen waren (figuur 6). In figuur 6 zijn concentraties hoger dan $100 \mu\text{g/L}$ niet opgenomen, hoewel die in 2001 (5 maal) en 2003 en 2004 (beiden 7 maal) wel voorkwamen. Bij deze hoge concentraties kan men zich afvragen of er geen sprake is geweest van monsternamen in een drijfslaag.

Tabel 6. Het aantal microcystinemetingen per jaar per provincie. Tussen haakjes het aantal keer dat de concentratie microcystine de 10 µg/l overschreed.

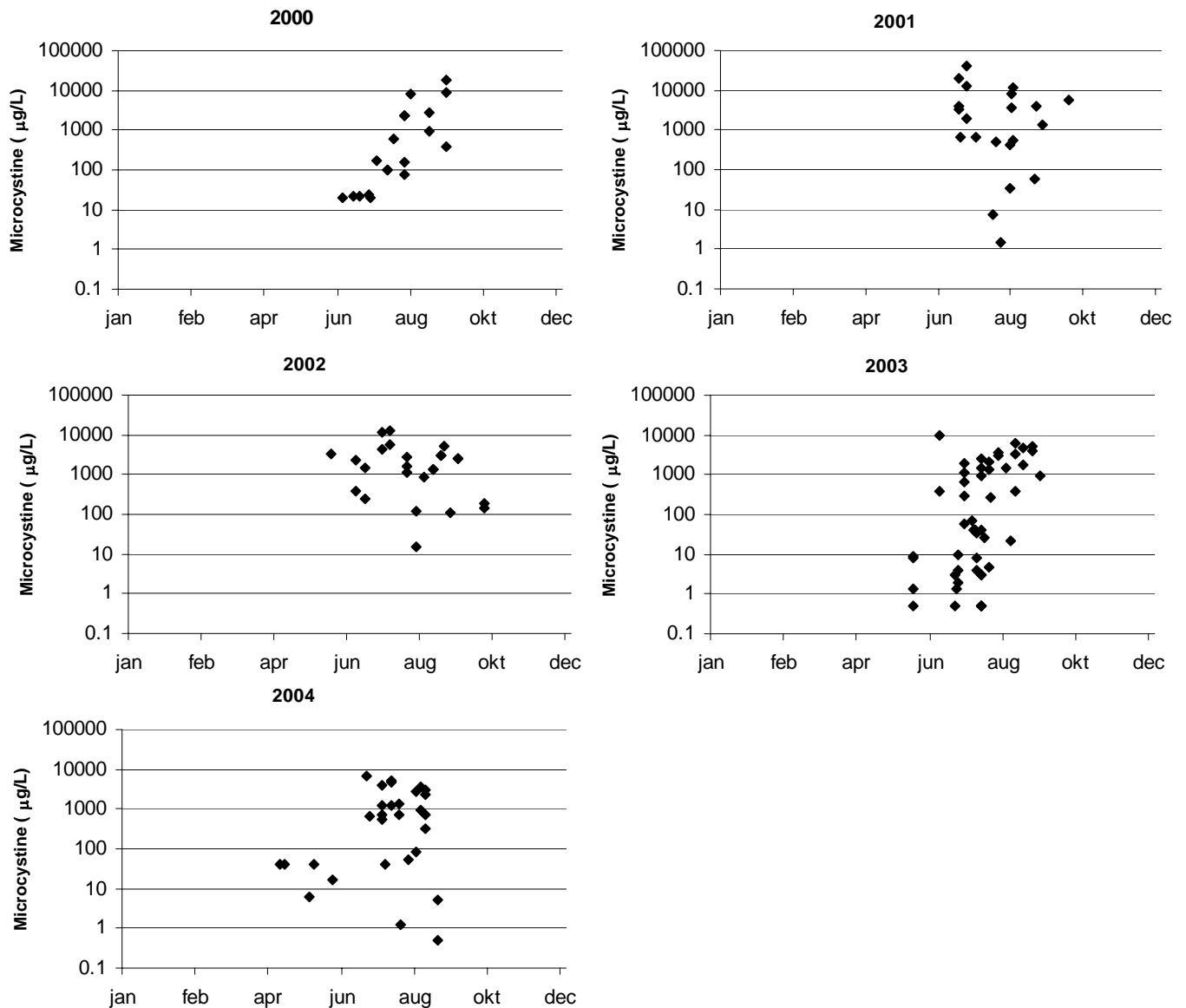
Provincie	2000	2001	2002	2003	2004
Brabant	-	5 (0)	2 (0)	13 (2)	11 (3)
Drenthe	-	-	-	11 (0)	4 (0)
Flevoland	-	3 (2)	1 (1)	11 (8)	18 (6)
Friesland	67 (9)	64 (9)	63 (1)	71 (1)	5 (1)
Gelderland	-	3 (1)	-	1 (0)	5 (1)
Groningen	-	-	-	18 (0)	9 (0)
Limburg	3 (2)	1 (0)	2 (0)	19 (3)	5 (2)
Noord-Holland	26 (3)	39 (5)	22 (2)	57 (5)	14 (1)
Overijssel	-	-	-	6 (1)	4 (0)
Utrecht	-	12 (0)	21 (0)	83 (26)	44 (6)
Zeeland	31(2)	19 (1)	24 (3)	27 (5)	52 (13)
Zuid-Holland	61 (0)	89 (10)	71 (8)	162 (18)	112 (21)

Wanneer het aantal metingen per provincie bekeken wordt, blijkt dat vooral in de noord-oostelijke provincies (Groningen, Drenthe en Overijssel) het aantal metingen laag is (tabel 6). Sinds 2003 zijn hier enkele metingen uitgevoerd. De metingen uit het Volkerak Zoommeer zijn in tabel 6 ondergebracht onder de verschillende provincies die aan het meer grenzen (afhankelijk van het monsterpunt zijn dat Zeeland, Zuid-Holland en Brabant). Bij twijfel welke provincie verantwoordelijk is voor een bepaald punt (kunnen er meer zijn), is voor de provincie Zeeland gekozen. In Friesland is het gereduceerde aantal metingen in 2004 opvallend. Het Wetterskip Fryslan heeft tussen 1999 en 2003 een jaarlijkse microcystine screening gehouden op een 50-tal locaties door de hele provincie. Daarbij werden echter maar een enkele maal concentraties gemeten die hoger zijn dan 10 µg/L. Sinds 2004 hebben de provincie en het Wetterskip Fryslan een pragmatischer aanpak gekozen en alleen gemeten indien er verdenkingen waren over een locatie. In het Volkerak Zoommeer is in 2004 de meetintensiteit juist toegenomen, men is al in april begonnen met een wekelijkse monsternamen op 4 locaties en tot november dit jaar daar mee doorgedaan. In eerdere jaren begon de monsternamen pas in juni en / of werden er minder locaties bemonsterd. In 2003 werden in de provincies Zuid-Holland en Utrecht de meeste overschrijdingen van de 10 µg/L grens gevonden, in 2004 was dat in Zeeland en Zuid-Holland. Zowel in Zeeland als in Zuid-Holland vonden de overschrijdingen veelal plaats in het Volkerak Zoommeer. In Flevoland werden de overschrijdingen van de richtlijnen voornamelijk veroorzaakt door cyanobacteriebloei in de randmeren Eemmeer en Gooimeer.

3.2 Microcystinemetingen in drijflagen 2000 - 2004

In tegenstelling tot de metingen die verricht zijn in het water valt er tussen de verschillende jaren wat betreft de hoogte van de microcystineconcentraties gemeten in de drijflagen weinig verschil waar te nemen. De maxima liggen elk jaar rond de 10000 µg/L met enkele uitschieters in 2001 (figuur 7). In de jaren 2000, 2003 en 2004 is wel duidelijk waar te nemen dat later in het seizoen de concentraties microcystine toenemen, wat duidt op een opeenhoping van meer cyanobacteriebiomassa.

De aanvang van drijfslagvorming en hoelang drijflagen waargenomen worden, en dus bemonsterd, verschilt wel per jaar. Zo worden in 2002 – 2004 al vroeg in het seizoen (mei – juni) al drijflagen waargenomen. In 2003 betreft het de *Aphanizomenon* “drijflagen” uit Friesland, in 2004 zijn het de drijflagen in Zwemlust die al zo vroeg aanwezig zijn. In 2001 en



Figuur 7. Resultaten van microcystine analyses in drijfslagen in de jaren 2000 - 2004, uitgedrukt in µg/L water. De microcystine waarden zijn uitgezet op een logaritmische schaal.

2002 blijven, zeker in het Volkerak Zoommeer, de drijfslagen lang aanwezig tot de tweede helft van oktober. In overige jaren zijn drijfslagen na de laatste week van september niet meer bemonsterd. Hier zullen weersomstandigheden een belangrijke rol gespeeld kunnen hebben.

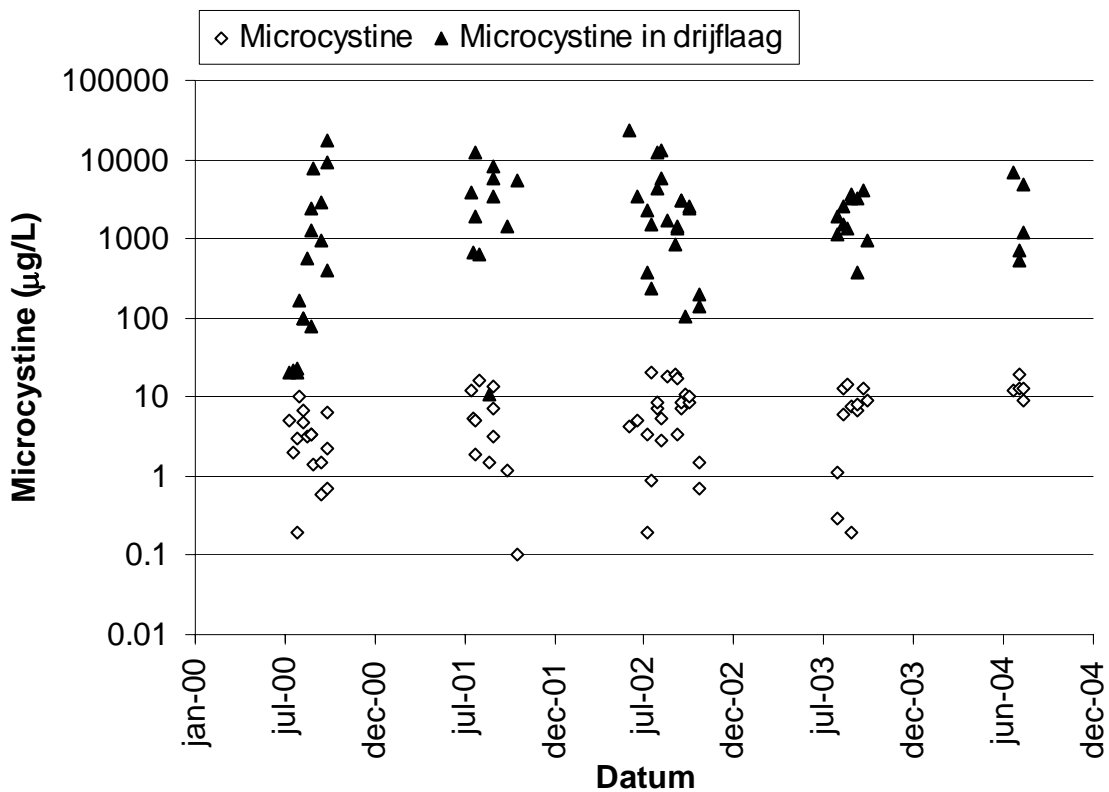
De laatste vijf jaar zijn er 144 microcystinemetingen gedaan in drijfslagen. Opvallend is dat deze gegevens slechts uit zeven provinciën afkomstig zijn, waarvan in drie provincies slechts twee bepalingen gedaan zijn (tabel 7). De meeste metingen zijn verricht in meren of zwemwateren die onder de verantwoordelijkheid van de provincie Zuid-Holland vallen, het gaat hier voornamelijk om metingen die verricht zijn in het Volkerak. Verder wordt duidelijk dat in veel drijfslagen de microcystineconcentratie van 20 µg/L overschreden werd.

Uitzondering hierop zijn metingen in Friesland en Noord-Holland. In de Friese meren werd het fytoplankton ten tijde van de lage microcystineconcentraties gedomineerd door *Aphanizomenon* (2000-2003) of *Anabaena spiroides* (2004). In Noord-Holland zijn in twee monsters, met lage microcystineconcentraties, *Microcystis*-cellen gevonden, zij het slechts 'weinig aanwezig'. Van de overige monsters waarin lage microcystineconcentraties zijn gemeten is de fytoplankton samenstelling onbekend.

Tabel 7. Aantal metingen in drijfslagen per jaar per provincie. Tussen haakjes het aantal keer dat de waarde lager dan 20 µg/l was.

Provincie	2000	2001	2002	2003	2004
Brabant	-	-	-	2 (0)	-
Drenthe	-	-	-	-	-
Flevoland	-	-	-	-	-
Friesland	-	-	-	7 (4)	3 (1)
Gelderland	-	1 (1)	1 (0)	-	-
Groningen	-	-	-	-	-
Limburg	-	-	-	-	2 (0)
Noord-Holland	-	-	2 (1)	15 (11)	4 (3)
Overijssel	-	-	-	-	-
Utrecht	-	-	-	7 (2)	4 (1)
Zeeland	14 (0)	5 (0)	6 (0)	4 (0)	5 (0)
Zuid-Holland	5 (0)	15 (1)	17 (0)	14 (0)	11 (0)

In figuur 8 zijn data geplot van microcystineconcentraties in drijfslagen en resultaten van monsters uit de waterfase die elders op het meer genomen zijn (of op hetzelfde monsterpunt onder de drijfslag). Het is duidelijk dat de gemeten waarden in de drijfslagen vele malen (variërend tussen 20 en 20000 µg/L) hoger zijn dan in de waterfase (variërend tussen 0.1 en 326 µg/L). Dit is een verontrustende waarneming: water bemonsterd op monsterpunt X kan lage concentraties microcystines bevatten terwijl elders op hetzelfde meer drijfslagen gevormd kunnen zijn waarin de concentraties vele malen de veilig geachte grens van 20 µg/L overschrijden. Overigens zit er enige overlap tussen de concentraties microcystine gemeten in drijfslagen en die gemeten in water. Dit impliceert dat biomassa niet homogeen over een meer verdeeld is en / of de definitie van drijfslagen niet eenduidig blijkt.



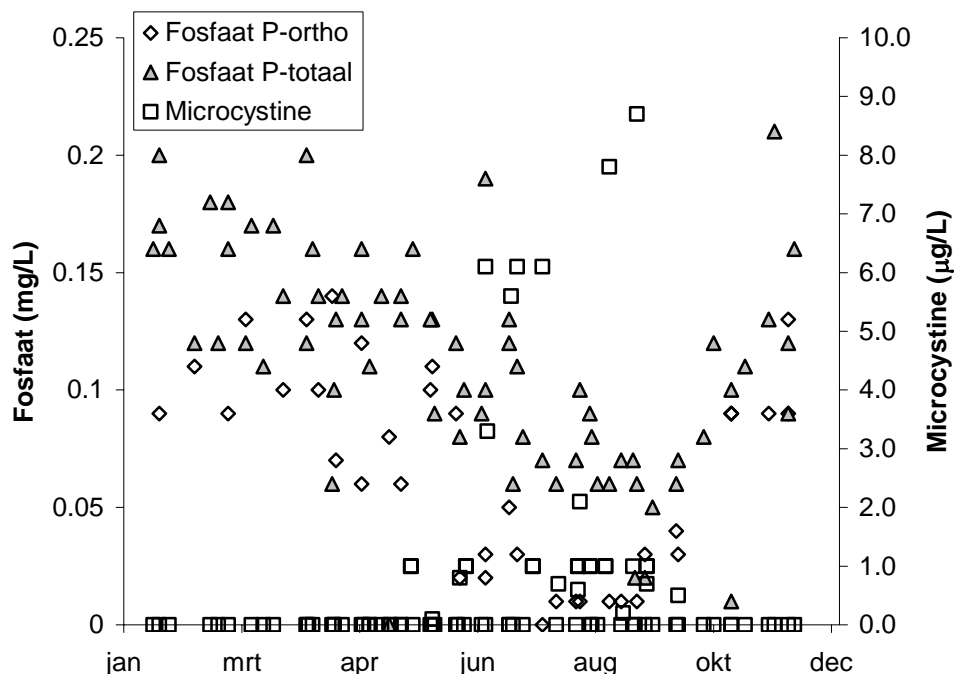
Figuur 8. Vergelijking van de concentraties microcystine gemeten in water en in drijfslagen, tegelijkertijd bemonsterd. De concentraties microcystine zijn uitgezet op een logaritmische schaal.

3.3 Omgevingsfactoren en microcystinedynamiek: gebruik van CYANONed

Het opstarten van een database met daarin alle relevante factoren die gerelateerd zijn aan cyanobacteriegroei en -bloei en daarmee gepaarde overlast vanwege de eventuele toxiciteit van deze bloeien en drijfslagen zou kunnen leiden tot vernieuwende inzichten in welke factoren sturend zijn voor de bloei en toxine dynamiek zoals die gevonden worden in de Nederlandse wateren. Het opstarten en gebruik van de database CYANONed is daarbij een goed hulpmiddel.

Naast het opzetten van de database (zie paragraaf 2.3) zijn er al enige data bewerkt en ingevoerd. Bij veel waterschappen worden microcystines gemeten in een zwemwaterprogramma of ad hoc. Omgevingsparameters worden vaak gemeten binnen andere monitoringsprogramma's gericht op waterkwaliteit. Met het invoeren van de gegevens in de database worden dit soort monsternamprogramma's gekoppeld.

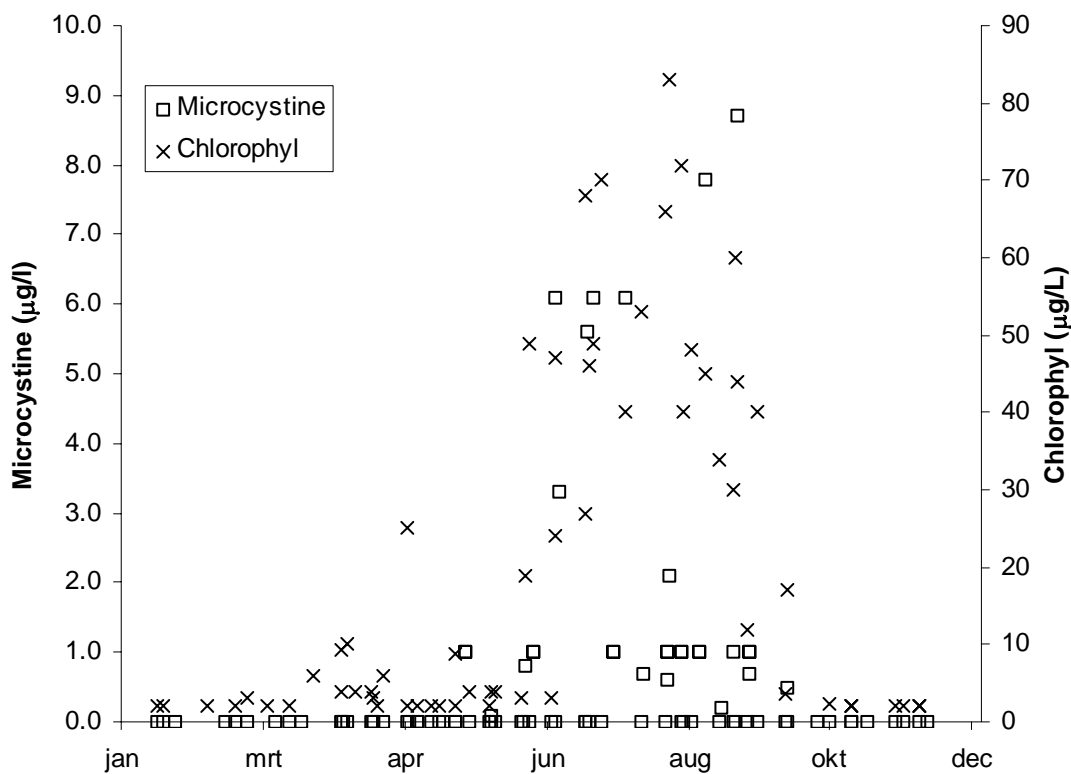
Tot dusver zijn alle microcystinedata zoals die in voorgaande resultaten gepresenteerd zijn afkomstig uit de database. De data zijn geselecteerd en gesorteerd met behulp van gerichte zoekacties (zogenaamde Query's). Daarnaast is er een begin gemaakt met de invoer van andere fysische en chemische factoren, met name die afkomstig zijn van het hoogheemraadschap Rijnland. Figuur 9 geeft een impressie van de mogelijke relaties van microcystineconcentraties en omgevingsfactoren. In de grafiek is de dynamiek van microcystineconcentratie en het fosfaatgehalte (zowel totaal als ortho fosfaat) in de Zeegerplas (Alphen a/d Rijn) van de laatste vijf jaar over elkaar geplott. De data voor deze grafiek zijn verkregen via één zoekopdracht in de database. Opvallend aan de grafiek is overigens dat de dynamiek van het microcystine niet direct gerelateerd lijkt te zijn aan de duidelijke fosfaatdynamiek.



Figuur 9. Microcystine- en fosfaatdynamiek in de Zeegerplas bij Alphen a/d/ Rijn over vijf (2000 – 2004) jaar geplott in één grafiek. De data zijn afkomstig van hoogheemraadschap Rijnland..

Een andere relatie die interessant is om te onderzoeken is die tussen microcystineconcentraties en de biomassa. Want meer (toxische) cyanobacteriecellen geven meer biomassa wat weer leidt tot hogere microcystine concentraties. Het gebruik van een goede biomassamaat voor cyanobacteriën zou daarom een belangrijke parameter kunnen zijn in de risico-analyse van de waterbeheerders.

Chlorofyl is voor veel waterbeheerders de enige biomassamaat die in oppervlaktewater gemeten wordt. In figuur 10 zijn microcystineconcentraties uitgezet tegen chlorofylconcentraties zoals die de laatste vijf jaar in de Zeegerplas (ZH) gemeten zijn. Over het algemeen lijkt er bij meer chlorofyl ook meer microcystine aanwezig. Aangezien chlorofyl een maat is voor de fytoplanktonbiomassa lijkt dit een logische relatie. Het pigment chlorofyl komt echter ook in andere groepen fytoplankton voor. Bovendien kan de hoeveelheid chlorofyl per cyanobacterie cel erg variëren. Dit betekent dat chlorofyl alleen niet de meest betrouwbare parameter is voor het bepalen van cyanobacteriële biomassa en dus ook niet voor eventuele risico's van de (toxische) cyanobacteriën. De koppeling van microcystine en chlorofyl data met de tabel fytoplanktonsoortsaamenstelling zou tot betere inzichten kunnen leiden omtrent het gebruik van de parameter chlorofyl. Dit zal verder uitgediept worden in de resterende tijd van dit onderzoek.



Figuur 10. Chlorofyl- en microcystineconcentraties (beide in µg/L) zoals die van 2000 tot en met 2004 gemeten zijn in de Zeegerplas bij Alphen a/d Rijn. De data zijn afkomstig van hoogheemraadschap Rijnland.

4. Discussie

Het massale voorkomen van cyanobacteriën in zoete en brakke wateren veroorzaakt wereldwijd problemen voor recreatie en de drinkwatervoorziening. Nederland vormt daar geen uitzondering op. Sinds enkele decennia is het ophopen van cyanobacteriebiomassa een zorg voor waterkwaliteitsbeheerders. Dit heeft reeds geleid tot vele maatregelen om eventuele gezondheidsrisico's te voorkomen.

Een integraal overzicht van hoe de situatie zich in Nederland over de laatste vijf jaar ontwikkeld heeft ontbreekt. Bovendien was het jaar 2003 een extreem warm jaar (op één na het warmste van de laatste eeuw) met veel windstille periodes; ideale omstandigheden voor massale cyanobacteriebloei. De vraag of deze weersomstandigheden ook tot een toename in cyanobacterie gerelateerde incidenten heeft geleid is tot dusver onduidelijk. De data verzameld in de Quick scan betreffende cyanotoxineconcentraties in de Nederlandse wateren in het jaar 2003 (Krot & Visser, 2003) kon niet in perspectief geplaatst worden omdat data van overige jaren ontbraken. Daarnaast bestaan er een aantal andere vragen over de situatie van cyanotoxines in Nederland. Het zijn deze vragen die de aanleiding vormden voor deze studie. De voornaamste vraag die in dit verslag behandeld wordt is: **Hoe (gevaarlijk) is de Nederlandse situatie met betrekking tot het voorkomen van cyanobacteriën en de door hen geproduceerde toxines?** Om inzicht te krijgen in welke omstandigheden daadwerkelijk potentieel gevaar opleveren is in dit verslag onderscheid gemaakt tussen metingen verricht in water en metingen verricht in drijfslagen.

Uit de resultaten van dit onderzoek blijkt dat het jaar 2003 met betrekking tot een aantal aspecten een uitzonderlijk jaar was:

- het aantal verrichte microcystinemetingen in zowel water als in drijfslagen was verdubbeld ten opzichte van andere jaren
- het aantal microcystineconcentraties die de richtlijn van 20 µg/L overschreden was vijf tot tien keer zo hoog als in voorgaande jaren, een trend die zich ook in 2004 manifesteert

Maar:

- de microcystineconcentraties in drijfslagen waren in het jaar 2003 niet veel hoger dan in overige jaren

Overige conclusies die aan de resultaten verbonden kunnen worden zijn:

- indien er drijfslagen bemonsterd werden, blijken de microcystineconcentraties enorm hoog en in veel gevallen de richtlijn van 20 µg/L honderden malen te overschrijden. Het werkelijke gevaar van de microcystines lijkt voor de Nederlandse situatie dan ook vooral te schuilen in de drijfslagen

Hieronder worden de bovenstaande conclusies nader toegelicht.

4.1 Metingen in watermonsters

De meetintensiteit van microcystineconcentraties heeft de laatste vijf jaar nogal gevarieerd tussen de verschillende provincies. In de provincies Friesland, Limburg, Noord-Holland, Zeeland en Zuid-Holland is in elk seizoen wel één of enkele microcystine metingen verricht. Het zijn met name de noord-oostelijke provincies Groningen, Drenthe en Overijssel en de provincie Gelderland waar pas sinds 2003 een start gemaakt is met het meten van deze cyanotoxines. Het zijn dezelfde provincies waar de microcystineconcentratie van 10 µg/L niet of nauwelijks overschreden werd. Dit zou kunnen betekenen dat men in deze provincies

weinig hinder ondervindt van toxische cyanobacteriebloei. Een andere verklaring voor de lage concentraties microcystine zou kunnen liggen in de extractiemethode zoals geopperd door Krot en Visser (2003).

Het lijkt er op dat in de meeste provincies sinds 2003 intensiever bemonsterd wordt, met uitzondering van Friesland (metingen in Noord- en Zuid-Holland zijn grotendeels afkomstig van het DYNATOX project). In Friesland is men sinds 2004 overgestapt naar een minder intensieve screening van de door hen beheerde meren. Over het algemeen kan gesteld worden dat er in het extreem warme jaar 2003 aanzienlijk meer microcystinemetingen zijn uitgevoerd dan in andere jaren: provincies en waterschappen lijken alert gereageerd te hebben op de weersomstandigheden die bekend staan als groeibevorderend voor cyanobacteriën. Ook wat betreft de hoogte van de gemeten concentraties zijn de jaren 2003 en 2004 uitzonderlijk wanneer er vergeleken wordt met eerdere jaren. Het aantal overschrijdingen van de 20 µg/L grens was in deze jaren minstens drie keer zo hoog als in voorgaande jaren. Dit betekent niet vanzelfsprekend dat de situatie in Nederland de laatste twee jaren verslechterd is. Het intensiever meten door de waterkwaliteitbeheerders en het meten op nieuwe locaties (bijvoorbeeld in de Randmeren) kan deze toename verklaren.

In het vervolgonderzoek zal verder nog aandacht besteed worden aan het beleid van de verschillende waterkwaliteitsbeheerders en provincies in het geval er hoge concentraties microcystines of drijfslagen gevonden werden. Werde er frequenter gemeten? Werden waarschuwingen gegeven of plassen gesloten?

4.2 Metingen in drijfslagen

Het aantal metingen in drijfslagen in de laatste vijf jaar was tien maal lager dan in reguliere watermonsters. Over het algemeen zijn veruit de meeste drijfslagen bemonsterd in 2003, de extreem warme zomer (ruim een derde van de metingen). Dit zou impliceren dat de extreme zomer geleid heeft tot meer drijfslagen. Voor het Volkerak Zoommeer is het opvallend dat in 2002 de meeste drijfslagen zijn bemonsterd, hetzelfde jaar waarin een massale vogelsterfte plaatsvond (zie tabel 2 en figuur 1). Of er enig verband bestaat tussen deze twee waarnemingen valt moeilijk te bewijzen.

Het zwaartepunt van het aantal drijfslagmetingen lag in het Volkerak Zoommeer (88 metingen van in de totaal 144). Dit verklaart ook meteen waarom er in de provincies Zeeland en Zuid-Holland zoveel metingen verricht zijn door de jaren heen, beide provincies grenzen aan dit meer. Opnieuw zijn er in de noord-oostelijke provincies, maar ook in Flevoland nooit microcystinemetingen verricht in drijfslagen. Dit betekent niet dat er geen drijfslagen aanwezig waren. Krot & Visser (2003) vermelden bijvoorbeeld wel enkele waarschuwingsberichten (krantenknipsels) uit deze provincies.

Indien er drijfslagen bemonsterd werden, blijken de microcystineconcentraties enorm hoog en in veel gevallen de richtlijn (concentratie van 20 µg/L) honderden malen te overschrijden. Het werkelijke gevaar van de microcystines lijkt voor de Nederlandse situatie dan ook vooral te schuilen in de drijfslagen.

Toch lijken, gezien de metingen in Friesland en Noord-Holland, drijfslagen niet per definitie gevaar op te leveren. Hiervoor zijn drie verklaringen mogelijk:

- de gebruikte extractiemethode heeft niet volstaan (zie Krot & Visser, 2003)
- de drijfslag was dermate dun dat de opeenhoping van cyanobacterie-cellen niet hoog genoeg was om een hoge microcystineconcentratie te veroorzaken, of dat er tijdens monsternamen een verdunning van de drijfslag is opgetreden.
- de drijfslagen hebben bestaan uit genera en / of stammen van niet-microcystine producerende cyanobacteriën, bijvoorbeeld *Aphanizomenon*.

Het feit dat binnen het DYNATOX project geen *Aphanizomenon* isolaten gevonden zijn die microcystine produceren, geeft onderbouwing aan het derde punt. Ook elders in de wereld is er maar een beperkt aantal gevallen bekend van *Aphanizomenon* gedomineerde meren waar ook microcystines zijn gevonden. Voor een goede risicoanalyse van drijfslagen lijkt het raadzaam om de soortensamenstelling van de drijfslaag nader te onderzoeken.

Met betrekking tot de drijfslaagmetingen in de Friese meren spelen beide laatste argumenten een rol. Indien er in de Friese meren enige verdichting van cyanobacteriën waargenomen wordt, wordt er extra bemonsterd. Het is dan niet noodzakelijk dat er daadwerkelijk dikke lagen cyanobacterie aan de oppervlakte drijven. Blijkbaar is de term drijfslaag niet altijd duidelijk te definiëren; wanneer spreekt men van een drijfslaag?; moet de drijfslaag een bepaalde dikte hebben?; hoe bemonster je een drijfslaag? Dit soort vragen kunnen verwarrend werken en zouden om uniformiteit in het meten door de verschillende instanties te garanderen, beantwoord dienen te worden.

4.3 Database CYANONed

Over het ontstaan van massale bloei van cyanobacteriën zijn al veel (wetenschappelijke) artikelen verschenen. Er bestaan vele hypothesen waarom cyanobacteriën in staat zijn tot dominantie van zoetwater meren (Huisman & Hulot, 2005). Over het algemeen bestaat het idee dat niet een enkele factor, maar meerdere factoren van invloed zijn op het massaal tot bloei komen van de cyanobacteriën. De microcystinegegevens zoals die in hoofdstuk 2 en 3 gepresenteerd zijn kunnen niet los gezien worden van de cyanobacteriebloeï zelf: zonder cyanobacteriën geen microcystines. Het is daarom van belang om ook voor de Nederlandse situatie te achterhalen welke factoren vooral bijdragen aan de dominantie van cyanobacteriën in de Nederlandse meren. Om inzicht te krijgen in de mogelijke sturende factoren worden er binnen dit project naast microcystine gegevens ook zoveel mogelijk chemische, fysische en cyanobacteriesoort gegevens verzameld. Dit betekent dat er voor elk monsterpunt waar microcystine gemeten is aanvullende data aangeleverd wordt. In het verdere verloop van dit onderzoek zal de database verder ingevuld worden met fysische, chemische en biologische parameters (zoals de fytoplankton-soortensamenstelling). Dit met het doel om de vragen: 'welke cyanobacterie veroorzaakt de meeste overlast in Nederlandse wateren' en 'wat zijn sturende factoren voor cyanobacteriebloeï en de productie van toxines', nader te bestuderen en mogelijk te beantwoorden.

Bovendien bestaat het idee om op termijn de database toegankelijk te maken voor andere gebruikers zodat op een snelle wijze inzicht verkregen kan worden in welke meren risicomeren zijn met betrekking tot cyanobacteriebloeï en wat de mogelijke factoren zijn waarop gelet dient te worden door waterkwaliteitsbeheerders.

Referentielijst

- Aquasense (1996) Ecologische effecten van cyanobacterietoxines, Rapport 96.0786. In opdracht van RIZA Lelystad.
- Burger-Wiersma T. & Versteegh J.F.M. (1994) Toxische cyanobacteriën in recreatiewateren. RIVM rapport nr. 609021003.
- CIW (2001) Leidraad monitoring. Definitief rapport.
- Huisman, J. & Hulot, F.D. (2005) Population dynamics of harmful cyanobacteria: factors affecting species composition. *In: Harmful Cyanobacteria. Eds.: Huisman J., Matthijs H.C.P. & Visser P.M., Springer, Berlin (in press).*
- Janse, I., Kardinaal, W.E.A., Meima, M., Fastner, J., Visser, P.M. and Zwart, G. (2004) Toxic and non-toxic *Microcystis* colonies in natural populations can be differentiated on the basis of rRNA internal transcribed spacer gene diversity, *Applied and Environmental Microbiology* **70**, 3979 - 3987.
- Janse, I., Meima, M., Kardinaal, W.E.A. and Zwart, G. (2003) High-resolution differentiation of cyanobacteria by using rRNA-internal transcribed spacer denaturing gradient gel electrophoresis, *Applied and Environmental Microbiology* **69**, 6634 - 6643.
- Kardinaal W.E.A. & Visser P.M. (2005) Dynamics of cyanobacterial toxins: sources of variability in microcystin concentrations. *In: Harmful Cyanobacteria. Eds.: Huisman J., Matthijs H.C.P. & Visser P.M., Springer, Berlin (in press).*
- Kromkamp J. C. & Mur L.M. (1984) Buoyant density changes in the cyanobacteria *Microcystis aeruginosa* due to changes in the cellular carbohydrate content, *FEMS Microbiology Letters* **25**, 105 – 109.
- Krot B. & Visser P.M. (2003) Inventarisatie naar de concentraties van cyanotoxines in Nederlandse meren gedurende zomer 2003 en naar eventuele hiermee samenhangende incidenten, een Quick Scan.
http://www.science.uva.nl/ibed/research/Research_Fields/amb/projectsamb/quick_scan_cyanotoxines_in_nederlands_meren/index.html
- Leeuwangh P., Kappers F.I., Dekker M. & Koerselman W. (1983) Toxicity of cyanobacteria in Dutch lakes and reservoirs, *Aquatic Toxicology* **4**, 63-72.
- Meijer M.L., de Boois I., Scheffer M., Portielje R. & Hoeser H. (1999) Biomanipulation in shallow lakes in The Netherlands: an evaluation of 18 case studies, *Hydrobiologia* **409**: 13-30.
- Oliver R.L. & Ganf G.G. (2000) Freshwater blooms, *In: The ecology of cyanobacteria, Eds: Whitton, B.A. & Potts M., Kluwer Academic publisher, Dordrecht, The Netherlands.*
- Pflugmacher S., Wiegand C., Ballot A., Krienitz L., Metcalf J., Morrison L., Codd G.A., Krause E., Kotut K., Cazenave J., Wunderlin D. & Wolfstein K. (2004) Detection of

cyanobacterial toxins in the brain of birds and fish. Poster presentation 6th International Conference on Toxic Cyanobacteria, Bergen, Norway.

STOWA (2000) Toxische blauwalgen in recreatiewateren, STOWA report 2000–20, Utrecht, The Netherlands.

Visser, P.M., Ibelings, B.W., Van der Veer, B., Koedood, J. and Mur, L.R. (1996) Artificial mixing prevents nuisance blooms of the cyanobacterium *Microcystis* in Lake Nieuwe Meer, the Netherlands, *Freshwater Biology* **36**, 435-450.