

Toxische blauwalgen in recreatiewateren



2000 20

Toxische blauwalgen in recreatiewateren

2000 20

Arthur van Schendelstraat 816
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht
Telefoon 030 232 11 99
Fax 030 232 17 66
E-mail stowa@stowa.nl
<http://www.stowa.nl>

Publicaties en het publicatie-
overzicht van de STOWA kunt u
uitsluitend bestellen bij:
Hageman Fulfilment
Postbus 1110
3330 CC Zwijndrecht
tel. 078 - 629 33 32
fax 078 - 610 42 87
e-mail: hff@wxs.nl
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.
ISBN 90.5773.115.0

Inhoud

| | |
|--|------------|
| Inhoud | i |
| Ten geleide | iii |
| Samenvatting | v |
| 1. Inleiding | 1 |
| 1.1. Aanleiding | 1 |
| 1.2. Blauwalgen | 1 |
| 1.3. Cyanotoxines | 2 |
| 1.4. Toxiciteit van cyanotoxines | 4 |
| 1.5. Effecten van cyanotoxines op recreanten..... | 5 |
| 1.6. Dit onderzoek | 6 |
| 1.7. Leeswijzer | 7 |
| 2. Methode | 9 |
| 2.1. Locatiekeuze..... | 9 |
| 2.2. Monstername | 9 |
| 2.3. Analyses | 10 |
| 3. Resultaten geografisch verspreidingsonderzoek | 11 |
| 3.1. Selectie van de locaties | 11 |
| 3.2. Omgevingsvariabelen en biomassaparameters | 11 |
| 3.3. Cyanotoxines | 12 |
| 3.4. Soortensamenstelling en aantallen blauwalgen..... | 14 |
| 3.4. Cyanotoxinegehalten in relatie tot fytoplanktonbiomassa | 16 |
| 4. Resultaten onderzoek temporele variatie | 21 |
| 4.1. Locaties | 21 |
| 4.2. Seizoensverloop van de cyanotoxineconcentratie..... | 22 |
| 4.3. Seizoensverloop van de fytoplanktonsoortensamenstelling | 24 |
| 4.4. Microcystinegehalten..... | 26 |
| 5. Discussie | 29 |
| 5.1. Richtlijnen voor microcystine-concentraties in recreatiewater..... | 29 |
| 5.2. Richtlijnen voor blauwalgendichtheden in recreatiewater..... | 29 |
| 5.3. Indicaties voor gevaarlijke cyanotoxine niveaus | 30 |
| 6. Voorlopig beslisschema voor handelen bij algenbloei | 35 |
| 7. Conclusies en aanbevelingen | 37 |
| 8. Literatuur | 39 |
| Bijlagen | 41 |
| Bijlage 1. Geografisch verspreidingsonderzoek. Overzicht geselecteerde (A) en niet-geselecteerde (B) locaties..... | 43 |
| Bijlage 2. Geografisch verspreidingsonderzoek 1998. Overzicht van fysisch/chemische analyses en flowcytometrische resultaten | 45 |
| Bijlage 3. Geografisch verspreidingsonderzoek 1998. Soortensamenstelling potentieel toxische blauwalgen | 47 |
| Bijlage 4. Temporele variatie van de microcystineconcentratie in 1998..... | 49 |
| Bijlage 5. Resultaten temporele variatie 1999. Overzicht analyseresultaten..... | 51 |
| Bijlage 6. Beslisschema..... | 53 |

Ten geleide

Bloei van blauwalgen (cyanobacteriën) veroorzaakt in sommige oppervlaktewateren gezondheidsproblemen bij recreanten. Om inzicht te krijgen in de blauwalgenproblematiek is een onderzoek uitgevoerd naar geografische verspreiding en temporele variatie van potentieel toxische blauwalgen. In het onderzoek zijn zwemwateren betrokken waarin zich een blauwalgenbloei heeft voorgedaan of waarin in voorgaande jaren gezondheidsklachten geassocieerd met blauwalgen gesignaleerd zijn. Het betreft een gezamenlijk onderzoek van Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) en het InterProvinciaal Overleg (IPO) als vertegenwoordiging van de gezamenlijke provincies. Het rapport bevat de resultaten van een onderzoek naar het voorkomen van toxische blauwalgen (cyanobacteriën) en de door deze organismen geproduceerde toxines (cyanotoxines) in Nederlandse recreatiewateren. Tevens is een aanzet gegeven voor een beslisschema als handreiking voor waterbeheerders om te bepalen welke maatregelen zij eventueel kunnen nemen bij bloei van blauwalgen.

Het in dit rapport beschreven onderzoek vormt de eerste fase in het kader van een groter onderzoek naar de effecten van toxische blauwalgen op ecosystemen en volksgezondheid. De tweede fase bestaat uit epidemiologisch en ecologisch onderzoek. Uitvoering van de onderdelen uit de tweede fase vindt plaats onder auspiciën van respectievelijk RIVM en RIZA. Regelmatig overleg van een begeleidingscommissie zorgt voor waarborging van de samenhang tussen de diverse onderzoeken.

Onderhavig project is uitgevoerd door drs. T. Burger (projectleider AquaSense). Begeleiding van het project is verzorgd door: ir. C. Bezuijen (Waterschap Hunze en Aa's), ir. M.R.A. Clewits (STOWA), C. Collé (IPO/Provincie Gelderland), Dr. B. Haring (VROM-DGM), ir. R. van der Helm (Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen), Dr. B.W. Ibelings (RIZA), ir. F.J.B. Kroes (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden), Dr. ir. E.J.T.M. Leenen (RIVM-MGB), Dr. ir. R.A. van der Meer (Wetterskip Fryslân), ir. J. Stroom (Hoogheemraadschap van Rijnland), ir. M.J.G. Talsma (STOWA), ir. R. Torenbeek (Waterschap Reest en Wieden), Dr. P. Visser (ARISE, UvA), drs. J.C. van der Vlugt (RIVM-LWD), ir. H. Wanningen (Waterschap Hunze en Aa's) en Dr. G. Zwart (NIOO-CL)

Ik spreek de wens uit dat de resultaten van dit onderzoek en het opgestelde beslisschema voor het nemen van eventuele maatregelen, de waterbeheerders ondersteunt bij het beheer van zwemwateren.

ir. J.M.J. Leenen
directeur STOWA

Utrecht, december 2000

Samenvatting

Aanleiding

In een aanzienlijk deel van de Nederlandse oppervlaktewateren zijn potentieel toxische blauwalgen (cyanobacteriën, blauwwieren) dominant gedurende een deel van de zomerperiode. Steeds meer onderzoeken wijzen in de richting van een oorzakelijk verband tussen gezondheidsklachten van zwemmers en de aanwezigheid van potentieel toxische blauwalgen. Doel van het hier gepresenteerde onderzoek is inzicht te krijgen in het vóórkomen van toxineproducerende blauwalgen en de door hen geproduceerde toxines in Nederlandse recreatiewateren, zowel in ruimte als in tijd.

Opzet onderzoek

Een inventarisatie onder provincies in 1997 leverde 82 recreatiewateren op waarin in belangrijke mate blauwalgen en/of gezondheidsklachten voorkwamen. Op 48 daaruit geselecteerde locaties, verspreid over Nederland, zijn in augustus en september 1998 eenmalig cyanotoxineconcentraties en concentraties potentieel toxische blauwalgen bepaald. Onderzoek naar de temporele variatie van potentieel toxische blauwalgen en cyanotoxines vond plaats in 1999 in 11 recreatiewateren.

Potentieel toxische blauwalgen

Op 83% van de geselecteerde locaties kwamen blauwalgen voor van één of meer van de potentieel toxische genera *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Gloeotrichia*, *Microcystis* en *Planktothrix*. De concentraties potentieel toxische blauwalgen varieerden van 500 tot 147.000 deeltjes per ml.

Volgens een recente WHO-publicatie kunnen bij blauwalgconcentraties vanaf 20.000 cellen/ml bij recreanten diverse 'milde ongemakken' als huiduitslag en maag/darm problemen optreden. Op 35% van de onderzochte locaties werd dit niveau overschreden.

Volgens dezelfde bron kunnen bij meer dan 100.000 potentieel toxische blauwalgcellen per ml ernstiger gezondheidsrisico's optreden. Op 10% van de onderzochte locaties werd dit niveau benaderd of overschreden.

De ontwikkeling van potentieel toxische blauwalgen vond op de meeste locaties plaats vanaf juli; alleen in het Slotermeer begon de ontwikkeling al in mei. Maxima werden – afhankelijk van de locatie – gevonden in augustus of september.

Cyanotoxines

Het neurotoxische cyanotoxine anatoxine-a, dat kan voorkomen in *Anabaena* soorten, *Aphanizomenon flos-aquae* en *Planktothrix agardhii*, werd in 1998 op geen enkele locatie aangetroffen. Op grond daarvan werd besloten dit toxine niet te onderzoeken in 1999.

Op bijna alle locaties kwam het hepatotoxische cyanotoxine microcystine (MC) voor, met concentraties variërend van 0,15 - 147 µg MC/l.

De bovengenoemde WHO-publicatie stelt een microcystinerichtlijn voor van 1 µg MC/l voor drinkwater. Op 77% van de onderzochte locaties werd dit niveau overschreden.

Voor recreatiewateren is de voorlopige richtlijn voor microcystine gesteld op 20 µg MC/l. Vanaf dit niveau zijn ernstiger gezondheidsrisico's na doorslikken of inhaleren, vooral bij kinderen, niet uit te sluiten. Op 21% van de onderzochte locaties is dit niveau benaderd of overschreden.

Microcystine types

Op veel locaties werd niet het bekende microcystine-LR aangetroffen, maar diverse andere, niet nader geïdentificeerde types. De microcystineconcentraties zijn zoals gebruikelijk uitgedrukt als microcystine-LR equivalenten. Omdat niet alle microcystines even toxisch zijn als type LR, kan op sommige locaties sprake zijn van een overschatting van de feitelijke toxiciteit.

Indicaties voor hoge cyanotoxine niveaus

Op de meeste locaties zijn, naast cyanotoxine- en blauwalgconcentratie, temperatuur, doorzicht, totaal-fosfaat, chlorofyl-a en een viertal flowcytometrische parameters gemeten. Nagegaan is of op basis van deze parameters richtlijnen geformuleerd kunnen worden die aangeven dat nader onderzoek naar cyanotoxines gewenst is.

Op enkele locaties volgde de ontwikkeling van de potentieel toxische populaties die van het cyanotoxine met een geleidelijke toename vanaf juli en maxima in augustus en september. Op andere locaties is echter geen enkel verband tussen de ontwikkeling van de toxines en de toxineproducerende blauwalgen gevonden. De voorspellende waarde van tellingen van potentieel toxische blauwalgen is derhalve maar beperkt.

Op grond van het grote aantal vals-positieven kan geconcludeerd worden, dat ook de overige parameters weinig of geen voorspellende waarde hebben met betrekking tot cyanotoxine-risico's. De snelste en meest betrouwbare methode voor het inschatten van deze risico's blijft de cyanotoxine-analyse.

In de huidige dataset werd de voorgestelde microcystine-richtlijn voor recreatiewater (20 µg MC/l) overschreden vanaf een chlorofyl-a concentratie van 22 µg/l. De door de WHO gehanteerde richtlijn van 50 µg chl-a/l is duidelijk te hoog voor de Nederlandse situatie.

Voorlopig beslisschema handelen bij algenbloei

Op grond van de WHO richtlijnen en de resultaten van het hier gepresenteerde onderzoek werd een beslisschema opgesteld, dat aangeeft hoe te handelen bij mogelijke risico's van cyanotoxines.

1. Inleiding

1.1. Aanleiding

In een aanzienlijk deel van de Nederlandse oppervlaktewateren zijn potentieel toxische blauwalgen (cyanobacteriën, blauwwieren) dominant gedurende een deel van de zomerperiode. Er zijn indicaties van een oorzakelijk verband tussen gezondheidsklachten van zwemmers en de aanwezigheid van potentieel toxische blauwalgen [Burger-Wiersma & Versteegh, 1994]. Ook kunnen toxische blauwalgen nadelige ecologische effecten veroorzaken, waaronder verminderde of selectieve graas door zoöplankton [AquaSense, 1996].

Veel blauwalgen, waaronder toxische stammen, vertonen optimale groei bij temperaturen tussen 20 en 30 °C. Juist in perioden met verhoogde recreatiedruk op oppervlaktewateren zijn hierdoor hoge blauwalg-concentraties te verwachten.

Vanuit het oogpunt van recreatie is water met hoge blauwalg-biomassa ongewenst. Niet alleen is recreëren in dergelijk water onaantrekkelijk, maar blauwalgen kunnen ook problemen voor de volksgezondheid opleveren, hetzij direct of indirect. Zo kan bij plotselinge afbraak van de blauwalgpopulatie zuurstofloosheid ontstaan, die massale sterfte van waterdieren tot gevolg kan hebben. Dat kan bijvoorbeeld via botulisme weer gevaar voor de gezondheid van recreanten opleveren. Ook kunnen bacteriën in de slijmhuide van blauwalgen gezondheidsklachten veroorzaken. Daarnaast is een aantal in Nederland dominante blauwalgen in staat toxines te produceren. Bij recreanten die in aanraking komen met toxische blauwalgen kunnen verscheidene gezondheidsklachten optreden.

1.2. Blauwalgen

Een juiste combinatie van temperatuur, licht en nutriënten kan leiden tot massale groei van algen. Wanneer de massale groei voor rekening komt van één of enkel soort(en) wordt gesproken van een bloei. In Nederland heeft toenemende voedselrijkdom van het oppervlaktewater vooral geleid tot bloei van blauwalgen, waaronder potentieel toxische soorten. Tabel 1 geeft een overzicht van de voor Nederland belangrijke blauwalgen, alsook de toxines die zij kunnen produceren.

Echter ook wanneer niet direct sprake is van een bloei kunnen potentieel toxische blauwalgen tot problemen leiden. Dit omdat de meeste soorten in staat zijn om drijfslagen te vormen. In zulke drijfslagen kunnen de concentraties aan blauwalgen en blauwalgtoxines tot extreme waarden oplopen [Christoffersen, 1999].

Tabel 1. Overzicht van zoetwater blauwalgsoorten en -geslachten, die in staat zijn tot cyanotoxineproductie [bron: Chorus & Bartram 1999]. Onderscheiden zijn de hepatotoxines microcystine (MC) en cylindrospermopsine (CS), en de neurotoxines anatoxine (AN) en saxitoxine (STX).

| Blauwalgen | Hepatotoxines | | Neurotoxines | |
|---------------------------------------|---------------|----|--------------|-----|
| <i>Anabaena</i> | MC | | AN | STX |
| <i>Aphanizomenon</i> | MC | CS | AN | STX |
| <i>Microcystis</i> | MC | | | |
| <i>Planktothrix (= Oscillatoria)</i> | MC | | AN | |
| <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> | | CS | | STX |
| <i>Gloeotrichia echinulata</i> | MC | | | |

Niet alle soorten uit de in tabel 1 genoemde geslachten vormen toxines, vandaar dat steeds gesproken wordt van potentieel toxische blauwalgen. Met name van het geslacht *Planktothrix* (voorheen *Oscillatoria*) zijn maar een paar toxineproducerende soorten bekend met als bekendste soort *Planktothrix agardhii*. Daarentegen zijn vrijwel alle *Microcystis*-soorten en veel *Anabaena*-soorten in staat toxines te produceren. Regelmatig worden nieuwe soorten toegevoegd aan de lijst met blauwalgen, die in staat zijn tot toxineproductie.

Een tweede reden om te spreken van potentieel toxische blauwalgen is, dat binnen één soort zowel stammen gevonden worden die wel, als stammen die geen toxines vormen. Toxische en niet-toxische soorten zijn dus niet door middel van microscopische analyse te onderscheiden. Tenslotte varieert de mate van toxineproductie afhankelijk van soort en stam, als ook van omgevingsfactoren als licht, nutriënten en temperatuur [Chorus & Bartram 1999].

1.3. Cyanotoxines

De toxines van blauwalgen (cyanotoxines) vormen een diverse groep van toxines, zowel qua chemische structuur als qua toxicologische werking. Ze worden op basis van hun effect onderverdeeld in hepatotoxines (effect op de lever), neurotoxines (effect op het zenuwstelsel) en dermatotoxines (effect op de huid). Tabel 2 geeft een overzicht van de cyanotoxines op basis van deze indeling, tezamen met de cyanobacteriegeslachten waarin ze kunnen voorkomen.

Tabel 2. Overzicht van de cyanotoxines, hun globale chemische structuur en de blauwalgen waardoor ze geproduceerd worden. [bron: Chorus & Bartram, 1999].

| Cyanotoxine groep | Cyanotoxine type | Chemische structuur | Blauwalgen ¹ |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------|--|
| Hepatotoxines | Microcystines | Cyclische peptides | <i>Microcystis</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Planktothrix</i> (<i>Oscillatoria</i>), <i>Aphanizomenon</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Anabaenopsis</i> |
| | Cylindrospermopsine | Alkaloïden | <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Umezakia</i> |
| Neurotoxines | Anatoxine-a | Alkaloïden | <i>Anabaena</i> , <i>Planktothrix</i> (<i>Oscillatoria</i>), <i>Aphanizomenon</i> , <i>Cylindrospermum</i> |
| | Anatoxine-a(S) | Alkaloïden | <i>Anabaena</i> |
| | Saxitoxines | Alkaloïden | <i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Lyngbya</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> |
| Dermatotoxines | Aplysiatoxines | Alkaloïden | <i>Lyngbya</i> , <i>Schizothrix</i> , <i>Planktothrix</i> |
| | Lyngbyatoxin-a ² | Alkaloïden | <i>Lyngbya</i> |
| | Lipopolysacchariden | Lipopolysacchariden | Alle blauwalgen |

1. Niet alle soorten uit deze geslachten produceren toxines

2. Heeft ook effect op ingewanden als maag en darm

Hepatotoxines

In het zoete water komen twee types hepatotoxines voor, namelijk microcystines en cylindrospermopsines.

Microcystines

Microcystines zijn de bekendste en meest in het zoete water voorkomende hepatotoxines. Inmiddels zijn meer dan 50 microcystines beschreven [Chorus & Bartram 1999]. De verschillende microcystines worden aangeduid met achter- en voorvoegsels, die verwijzen naar de veranderingen in de chemische structuur ten opzicht van het eerst beschreven microcystine-LR. De bekendste microcystines zijn MC-LR, MC-RR, MC-LY, MC-LF en MC-LW. Voor een gedetailleerd overzicht wordt verwezen naar Chorus & Bartram 1999.

Microcystines worden niet actief uitgescheiden; ze komen alleen vrij bij openbreken van de cellen. Voor de beoordeling van risico's van cyanotoxines zijn intracellulaire cyanotoxines dan ook van groot belang. Microcystines zijn matig oplosbaar in water. Door hun grote chemische en bacteriologische resistentie kunnen microcystines wekenlang in tact blijven in oppervlaktewater [Watanabe *et al.*, 1992].

De productie van microcystines is niet beperkt tot *Microcystis*-soorten. Het is ook aangetoond in soorten van de geslachten *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Aphanizomenon* *Nostoc* en *Planktothrix* (tabel 2). Henriksen [1996] vond zelfs dat populaties met een dominantie van *Planktothrix agardhii* gemiddeld een hogere concentratie aan microcystines bevatten dan populaties gedomineerd door *Microcystis* soorten.

Cylindrospermopsines

De minder bekende cylindrospermopsines kunnen eveneens leverschade veroorzaken hoewel hun chemische structuur heel anders is. Tevens zijn effecten van celextracten van *Cylindrospermopsis raceborskii* op nieren, milt, thymus en hart beschreven. Onder natuurlijke condities vindt een vrij snelle afbraak van cylindrospermopsine plaats [Chorus & Bartram, 1999].

Neurotoxines

Neurotoxines worden minder frequent aangetoond in natuurlijke blauwalg-populaties dan hepatotoxines. Eén van de oorzaken daarvan kan zijn, dat er gewoon minder onderzoek gedaan is naar neurotoxines in het zoete water. Henriksen *et al* [1998] vonden echter bij een omvangrijk onderzoek in Denemarken, dat 64% van de monsters hepatotoxiciteit vertoonden en 12% neurotoxiciteit. Neurotoxines vertonen een grote verscheidenheid aan chemische structuren, waardoor verschillende bepalingmethoden toegepast moeten worden om ze te detecteren.

Anatoxines

Tot op heden zijn drie anatoxines beschreven, te weten anatoxine-a, homoanatoxine-a en anatoxine-a(S). Anatoxine-a en homoanatoxine-a vertonen chemisch gezien grote gelijkenis. Anatoxine-a(S) is echter een geheel ander type verbinding. De (S) in de naam van de laatste verbinding verwijst naar de extreme speekselvorming (saliva), die optreedt bij vergiftiging met dit toxine.

Anatoxine-a wordt geproduceerd door verschillende *Anabaena*-soorten en niet nader geïdentificeerde soorten van de geslachten *Aphanizomenon*, *Oscillatoria*, *Planktothrix* en *Cylindrospermum*. Chorus & Bartram [1999] verwijzen naar 1 waarneming van een minimale hoeveelheid anatoxine-a in *Microcystis*. Productie van homo-anatoxine-a is tot nu alleen waargenomen in *Oscillatoria formosa* (*Phormidium formosum*). Anatoxine-a(S)-productie is waargenomen in *Anabaena flos-aquae* en *Anabaena lemmermannii*.

In tegenstelling tot microcystines worden anatoxines wel actief uitgescheiden (of ze lekken uit de cellen), maar het merendeel van de toxines blijft in de cellen. Eenmaal buiten de cellen wordt anatoxine binnen enkele uren afgebroken. Ook in dit geval kan beoordeling van de risico's het beste aan de hand van de intracellulaire concentraties plaatsvinden.

Saxitoxines

Saxitoxines is de verzamelnaam voor een grote groep van toxines met een vergelijkbare chemische structuur en een vergelijkbaar toxisch effect. Hieronder vallen de saxitoxines (STX), gonyautoxines (GTX), neosaxitoxine, decarbymolsaxitoxine (dcSTX), decarbymolgonautoxines (dcGTX), C-toxines en Lyngbya-wollei-toxines. Deze toxines worden geproduceerd door *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Lyngbya wollei* en *Aphanizomenon*. Voor een gedetailleerd overzicht wordt verwezen naar Chorus & Bartram 1999.

Voor zover bekend worden saxitoxines niet uitgescheiden; risicobeoordeling kan dus ook bij deze groep cyanotoxines aan de hand van het intracellulair toxine plaatsvinden. Komen de toxines wel vrij dan is de afbraak langzaam; de halfwaardetijd voor de afbraak bedraagt 1 - 10 weken.

Dermatotoxines

De onder deze groep vallende lipopolysacchariden (LPS) komen voor in alle blauwalgen, waar zij een wezenlijk onderdeel vormen van de celwand. Naar het voorkomen en de effecten van LPS van blauwalgen is weinig onderzoek gedaan. Wel lijkt blauwalg-LPS minder toxisch zijn dan LPS van andere bacteriën.

Tot op heden zijn de dermatotoxines aplysiatoxines en lyngbyatoxines nog niet aangetoond in zoetwater blauwalgen.

1.4. Toxiciteit van cyanotoxines

De mate van toxiciteit wordt meestal aangegeven door de letale dosis "LD₅₀". De letale dosis wordt in het algemeen vastgesteld door inspuiting van verschillende doses van een opgeloste stof in de buikholte van muizen (= intraperitoneale injectie). De LD₅₀ is de dosis waarbij 50% van de dieren sterft. Dat betekent dat hoe kleiner het getal is des te groter is de toxiciteit. De LD₅₀'s van cyanotoxines variëren van circa 10 tot meer dan 2000 µg toxine/kg lichaamsgewicht. Dat is relatief toxisch bij vergelijking met andere natuurlijke toxines (tabel 3).

Tabel 3. De toxiciteit (LD₅₀ in µg/kg lichaamsgewicht) van cyanotoxines vergeleken met die van andere natuurlijke toxines. [bron: Carmichel, 1992].

| Toxine | Organisme | Omschrijving | Toxiciteit (LD ₅₀) |
|-------------------|--|--------------|--------------------------------|
| Botuline toxine-a | <i>Clostridium botulinum</i> | Bacterie | 0,00003 |
| Difterietoxine | <i>Corinebacterium diptheriae</i> | Bacterie | 0,3 |
| Saxitoxines | <i>Aphanizomenon</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Lyngbya wollei</i> | Blauwalg | 10 - 200 |
| Cobra toxine | <i>Naja naja</i> | Slang | 20 |
| Anatoxine-a(S) | <i>Anabaena</i> | Blauwalg | 20 |
| Microcystines | <i>Microcystis</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> | Blauwalg | 25 - >1200 |
| Anatoxine-a | <i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Planktothrix</i> | Blauwalg | 200 |
| Homoanatoxine-a | <i>Planktothrix</i> | Blauwalg | 250 |
| Curare | <i>Chondodendron tomentosum</i> | Plant | 500 |
| Strychnine | <i>Strychnos nux-vomica</i> | Plant | 500 |
| Amatoxine | <i>Amanita phalloides</i> | Plant | 600 |

Microcystine-LR is één van de meest toxische hepatotoxines (LD_{50} 25 $\mu\text{g}/\text{kg}$); saxitoxine-STX en anatoxine-a(S) met LD_{50} 's van respectievelijk 10 en 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de meest toxische neurotoxines. De LD_{50} van cylindrospermopsine is 2100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ lichaamsgewicht en dat is laag in vergelijking tot de andere cyanotoxines. Vanwege de lage toxiciteit wordt cylindrospermopsine hier verder buiten beschouwing gelaten.

Vaststaat dat microcystines en saxitoxines dodelijk kunnen zijn voor mensen. In verschillende gevallen kon de sterfte van mensen geassocieerd worden met cyanotoxines. Zo stierven in Brazilië 88 personen in 42 dagen na de ontwikkeling van een blauwalgenbloei in een drinkwaterreservoir. Een ander voorbeeld is de sterfte van 50 van de 114 mensen die gedialyseerd waren met water dat microcystines bevatte. Het toxische effect van saxitoxines bleek doordat mensen stierven na het eten van mosselen die saxitoxinevormende algen hadden geaccumuleerd (paralytic shellfish poisoning). Van anatoxines zijn dit soort gegevens niet bekend.

1.5. Effecten van cyanotoxines op recreanten

Uit de toxiciteitsgegevens blijkt, dat niet al te lichtvaardig over cyanotoxines gedacht moet worden. De mate van toxiciteit en de effecten hangen echter sterk af van de wijze en de duur van blootstelling.

Recreanten zullen in het algemeen alleen aan cyanotoxines blootstaan via de huid of door inademen en inslikken van blauwalgen. Inademen van blauwalgen lijkt niet erg waarschijnlijk, maar kan optreden bij water- en jetskiërs. Door verneveling van water kunnen aerosolen met blauwalgen ontstaan, die ingeademd kunnen worden.

Effecten op de huid uit zich in jeuk en het ontstaan van vlekken en blaasjes. Deze allergische reacties zullen in een deel van de gevallen veroorzaakt worden door lipopolysacchariden. Over de acute en chronische effecten van deze dermatotoxines is maar weinig bekend. In het algemeen wordt aangenomen, dat de effecten 'acceptabel' zijn; al is een enkel ernstige geval beschreven van blaarvorming vergelijkbaar met brandwonden. Omdat tevens relatief weinig bekend is over de detectiemethoden van deze toxines, worden ze in dit onderzoek verder buiten beschouwing gelaten.

Hepatotoxines

Ook microcystines kunnen vlekken en blaasjes op de huid veroorzaken. Waarschijnlijk komt het toxine vrij uit de cellen, doordat deze openbreken tijdens het opdrogen op de huid. De blaasjes ontstaan met name in de liesstreek en rond de mond, neus en ogen. Tevens kan oorpijn optreden. Aangenomen wordt, dat microcystines niet via de huid opgenomen worden.

Bij inslikken of inademen van blauwalgen kunnen lage doseringen bij mensen leiden tot klachten variërend van gastro-intestinale klachten (misselijkheid, braken, buikpijn, diarree), griepachtige verschijnselen, hoofdpijn en geïrriteerde ogen. Hogere doseringen en/of chronische blootstelling kan uiteindelijk leiden tot ontwikkeling van tumoren en/of beschadiging van de lever [Carmichael, 1992].

Om de gezondheidsrisico's voor recreanten beter te kunnen inschatten is op basis van de LD_{50} en een aantal aannames voor microcystine-LR een Toegestane Dagelijkse Inname (TDI) van 0,04 $\mu\text{g}/\text{kg}$ lichaamsgewicht berekend. In tabel 4 is deze TDI omgerekend naar inname van water (met blauwalgen) met microcystines.

Uit deze TDI is uiteindelijk in opdracht van de WHO een richtlijn voor microcystines bij recreatief gebruik van oppervlakte water afgeleid. Deze is gesteld op 20 μg microcystine per liter [Chorus & Bartram, 1999]. Bij de vaststelling van deze waarde is ingecalculleerd dat geen continue en levenslange blootstelling aan het toxine plaatsvindt.

Tabel 4. Relatie tussen het lichaamsgewicht (BW) en de maximale hoeveelheid water, die ingeslikt kan worden zonder de Toegestane Dagelijkse Inname (TDI) te overschrijden bij microcystinegehalten van 10, 20 en 100 µg/l.

| BW (kg) | TDI (µg) | Hoeveelheid water (ml) bij: | | |
|---------|----------|-----------------------------|------------|-------------|
| | | 10 µg MC/l | 20 µg MC/l | 100 µg MC/l |
| 10 | 0,4 | 40 | 20 | 4 |
| 20 | 0,8 | 80 | 40 | 8 |
| 60 | 2,4 | 240 | 120 | 24 |
| 80 | 3,2 | 320 | 160 | 32 |

Neurotoxines

De neurotoxines grijpen aan op het zenuwstelsel. Anatoxine-a en homoanatoxine-a vertonen qua structuur gelijkenis met cocaïne. Zij remmen de overdracht van zenuwpulsen op de spiervezels doordat zij de aangrijpingspunten van acetylcholine innemen. Anatoxine-a(S) lijkt qua chemische structuur op organofosfor insecticide.

Ondanks de grote verschillen in chemische structuur zijn tekenen van vergiftiging met neurotoxines gelijk, *i.e.* afnemende activiteit, duizeligheid, ademhalingsproblemen en krampen [Carmichael 1992]. Bij hoge doseringen kunnen verlamingsverschijnselen en vervolgens zuurstofgebrek ontstaan, hetgeen uiteindelijk kan leiden tot de dood.

Van de neurotoxines zijn onvoldoende gegevens bekend om een TDI te berekenen en richtlijnen te formuleren.

1.6. Dit onderzoek

Om inzicht te krijgen in de blauwalg-problematiek in Nederland in ruimte en tijd is onderzoek naar de geografische verspreiding en de seizoensvariatie van toxische blauwalgen uitgevoerd. De resultaten zijn gebruikt als basis voor het opstellen van richtlijnen voor Nederland. Op grond van de resultaten zijn tevens een geschikte locatie en tijdstip te selecteren voor epidemiologisch en eventueel ander onderzoek.

Doel van het in dit rapport gepresenteerde onderzoek is:

1. Het in kaart brengen van de geografische verspreiding van toxische blauwalgen in Nederland aan de hand van onderzoek in circa 50 meren, waarbij tevens cyanotoxinesoort en -gehalte zijn bepaald. Met het oog op het vaststellen van richtlijnen is gelijktijdig een aantal omgevingsvariabelen vastgelegd.
2. Het verkrijgen van een indicatie van de seizoensafhankelijke variatie van het cyanotoxinegehalte.
3. Nagaan of de cyanotoxineconcentraties dermate hoog zijn, dat zij een risico voor recreanten kunnen vormen.
4. Nagaan of andere, veelal routinematig gemeten (veld)parameters indicatief zijn voor hoge cyanotoxinegehalten.
5. Het opstellen van een voorlopig beslisschema voor waterbeheerders.

1.7. Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de toegepaste methoden besproken. De resultaten van het onderzoek naar de geografische verspreiding zijn beschreven in hoofdstuk 3, gevolgd door resultaten van het onderzoek naar de seizoensafhankelijke variatie in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 worden de gevonden resultaten bediscussieerd in het licht van de richtlijnen die door de WHO opgesteld zijn. Tevens is in hoofdstuk 5 beschreven of andere parameters kunnen dienen als indicator voor risico's door blauwalgtoxines. In hoofdstuk 6 is een voorlopig beslisschema weergegeven dat handreikingen biedt voor het nemen van maatregelen door de Nederlandse waterbeheerder. Hoofdstuk 7 sluit af met conclusies en aanbevelingen.

2. Methode

Het onderzoek is uitgevoerd in 1998 en 1999. In 1998 is de geografische verspreiding onderzocht door screening van 48 meren op aanwezigheid van potentieel toxische blauwalgen en hun toxines. Daarnaast vond in 1998 een onderzoek plaats naar de temporele variatie van cyanotoxines in 7 meren. In 1999 is de temporele variatie van de blauwalgen en hun toxines in 11 meren gedurende het groeiseizoen gevolgd.

De aanpak bij locatiekeuze en monsternamen verschilde enigszins in de twee onderzoeksjaren. Daarom worden deze hieronder bij § 2.1 en 2.2 apart besproken. De analyses zijn in het algemeen wel op dezelfde wijze uitgevoerd in beide jaren. Kleine verschillen in voorbehandeling (flowcytometrie) en uitvoering (fytoplanktonanalyses) zijn opgenomen in de tekst van § 2.3.

2.1. Locatiekeuze

Geografisch verspreidingsonderzoek

Voorwaarden voor selectie van de locaties kwamen voort uit de doelstellingen van het onderzoek. Zo moesten de locaties verspreid liggen in Nederland en gedomineerd zijn door potentieel toxische blauwalgen. Voorts moest de selectie voor het grootste deel bestaan uit wateren, die gecontroleerd worden in het kader van de WVO/WHVZ om gebruik van de resultaten voor de epidemiologische studie te waarborgen. Belangrijke criteria waren verder de intensiteit van recreatief gebruik en melding van gezondheidsklachten in 1997 en/of 1998.

Temporele variatie

De locaties voor het onderzoek naar de temporele variatie van cyanotoxines in 1998 zijn geselecteerd door de waterbeheerders. Locaties voor het temporele onderzoek in 1999 zijn geselecteerd op grond van de resultaten van het onderzoek van 1998. Daarbij waren een hoog cyanotoxinegehalte en in het bijzonder een hoog microcystine-LR gehalte belangrijke criteria.

2.2. Monsternamen

Geografisch verspreidingsonderzoek

Het onderzoek werd uitgevoerd op 48 zwemlocaties verspreid over het land. De locaties zijn eenmaal bemonsterd in de periode 22 juli 1998 tot 06 september 1998. De aanleiding voor de start van het onderzoek was een periode met warm weer. De overige bemonsteringen vonden eveneens zoveel mogelijk plaats in periodes met warm weer om zodoende een relatie te kunnen leggen met het recreatief gebruik van de plassen.

Temporele variatie

Voor het temporele onderzoek in 1998 zijn in de periode juli-september enkele locaties *ad hoc* bemonsterd door de respectievelijke waterbeheerders.

Voor het temporele onderzoek van 1999 zijn 5 locaties bemonsterd door AquaSense; de overige door de waterbeheerders. In dit onderzoek is met een tweewekelijkse frequentie gemonsterd in de periode mei tot en met oktober. De start en de duur van de onderzoeksperiode verschilde van locatie tot locatie (zie resultaten). Bij alle onderzoeken zijn de locaties met een emmer of steekbuis bemonsterd in de zwemzone. Bemonstering in drijfslagen werd vermeden wanneer deze slechts een relatief klein oppervlak van de zwemzone innamen. Als het merendeel van de zwemzone bedekt was met een drijfslag is daarin wel gemonsterd. Doorzicht en temperatuur zijn bepaald in verband met het opstellen van richtlijnen voor waterbeheerders.

2.3. Analyses

Voor het temporele onderzoek in 1998 en een deel van het onderzoek in 1999 werden de monsters voorbehandeld door waterbeheerders.

Flowcytometrie

Bij het onderzoek in 1998 zijn verse watermonsters binnen 24 uur na monsternamen flowcytometrisch geanalyseerd volgens AquaSense-SOP A343. Daarbij is het deeltjesaantal en de chlorofyl-a fluorescentie per μL berekend van blauwalgen, overig fytoplankton en non-fytoplankton. Tevens zijn monsters gefixeerd met 10% GAPF-fixatief (0.01% paraformaldehyde/0.1% glutaraaldehyde) voor eventuele herhaling van analyses. De gefixeerde monsters zijn maximaal 14 dagen bewaard. Bij het onderzoek van 1999 is alleen gewerkt met gefixeerde monsters. Deze monsters zijn maximaal 8 weken bewaard voor analyse en geanalyseerd volgens AquaSense-SOP A343.

Fytoplanktensamenstelling

Voor de bepaling van de globale fytoplanktensamenstelling is 50 ml water direct na bemonsteren gefixeerd met 5 ml formaline 37% (onderzoek 1998) of Lugol (onderzoek 1999). De globale fytoplanktensamenstelling is bepaald volgens AquaSense-SOP A203. Daarbij zijn 100 (onderzoek 1998) dan wel 200 (onderzoek 1999) individuen geteld. Determinatie van potentieel toxische blauwalgen vond plaats tot op soort; het andere fytoplankton werd gedetermineerd tot taxonomische hoofdgroep, *i.e.* overige blauwalgen, groenwieren, diatomeeën, overig fytoplankton.

Asvrij drooggewicht

Asvrij drooggewicht (AFDW) is bepaald volgens AquaSense-SOP A344. Daartoe is, afhankelijk van de sestondichtheid, 50 tot 1000 ml watermonster over een voorgewassen en voorgewogen glasvezelfilter afgefilterd. Na ≥ 16 uur drogen bij 70°C zijn de filters opnieuw gewogen. Aansluitend zijn de filters gedurende ≥ 4 uur verast bij 550°C , waarna ze opnieuw gewogen werden.

Chlorofyl a

Chlorofyl a bepalingen vonden plaats volgens NEN 6520.

Intracellulair microcystine

Voor de bepaling van intracellulair microcystine is, afhankelijk van de sestondichtheid, 50 tot 1000 ml watermonster over glasvezelfilter (Whatman GF/F) afgefilterd. De filters zijn tot analyse bewaard bij -20°C . Analyse vond plaats door middel van HPLC volgens Lawton *et al.* [1994] met microcystine-LR als externe standaard. Microcystines werden geïdentificeerd aan de hand van hun karakteristieke spectrum tussen 200 en 300 nm. De individuele pieken zijn gesommeerd en weergegeven als microcystine-LR equivalenten.

Intracellulair anatoxine

Intracellulair anatoxine is bepaald zoals beschreven in Jefferies *et al.* [1994] en Zotou *et al.* [1993], met anatoxine-a als externe standaard. M.b.v. deze methode kunnen anatoxine-a en homo-anatoxine-a worden geanalyseerd.

Totaal fosfaat

Het totaal fosforgehalte van de watermonsters is bepaald door TAUW (Deventer).

3. Resultaten geografisch verspreidingsonderzoek

De selectie van de locaties wordt beschreven in § 3.1. In § 3.2 wordt kort ingegaan op de resultaten van de metingen van veldgegevens en biomassaparameters, die in hoofdstuk 5 getoetst worden op hun bruikbaarheid voor een beslisschema voor het nemen van maatregelen in geval van blauwalgenproblematiek. Monsters van alle locaties zijn geanalyseerd op cyanotoxines (§ 3.3) en de aanwezigheid van potentieel toxische blauwalgen (§ 3.4). In § 3.5 tenslotte wordt ingegaan op de gevonden cyanotoxinegehalten per cel of per biomassa-eenheid, die indicatief zijn voor de mate van toxiciteit van populaties.

3.1. Selectie van de locaties

Uit een provinciale inventarisatie in 1997 kwamen 82 recreatiewateren naar voren waarin in belangrijke mate blauwalgen voorkomen. Bijlage 1 bevat een overzicht van deze wateren met een indicatie van bezoekersaantal, dominante blauwalg-soort en eventuele melding van gezondheidsklachten in 1997 of eerder. Opmerkelijk is het grote aantal probleemlocaties in de provincie Zuid-Holland. Van het merendeel van de zwemlocaties in deze provincie zijn gezondheidsklachten gemeld. Ook in de provincie Friesland kwamen gezondheidsklachten voor. Door de overige provincies is geen melding gemaakt van gezondheidsklachten in 1997.

Voor het geografische verspreidingsonderzoek is een selectie gemaakt van 48 locaties. Alle bemonsterde locaties voldeden aan één of meer van de gestelde criteria (zie § 2.1). In sommige gevallen was de fytoplanktensamenstelling niet bekend zoals bijvoorbeeld in De Kuilen en in het Engelenmeer (beide Noord-Brabant). Deze locaties zijn toch opgenomen omwille van de geografische spreiding van de onderzoekslocaties. Bij de keuze uit het grote aanbod van locaties in de provincie Zuid-Holland gold melding van gezondheidsklachten als belangrijkste criterium. Daarnaast waren bezoekersaantallen, fytoplanktensamenstelling en bereikbaarheid bepalend voor de keuze.

3.2. Omgevingsvariabelen en biomassaparameters

Op de meeste geselecteerde locaties is een aantal omgevingsvariabelen gemeten: temperatuur, doorzicht en totaal-fosfaat. Tevens is een aantal flowcytometrische parameters gemeten. De resultaten zijn bijeengebracht in bijlage 2.

Watertemperatuur

De watertemperatuur varieerde van 14.9 tot 26.2 °C (zie bijlage 2). Het merendeel van de monsterperiode lagen de temperaturen rond de 20 °C. De hoogste temperaturen zijn waargenomen op 10 augustus. De laagste waarden zijn eind augustus gevonden, na een korte periode met koel weer.

Doorzicht

Het doorzicht varieerde van 15 tot 120 cm zie (bijlage 2). Op 24 locaties is bodemzicht gevonden. Dit was voornamelijk toe te schrijven aan de geringe diepte op de betreffende (zwem)locaties (15-80 cm).

Fosfaat

Het totaal fosfaatgehalte varieerde van < 0.05 tot 0.37 mg/l (bijlage 2). In 24 gevallen is een concentratie gevonden kleiner of gelijk aan de detectiegrens van 0,05 mg/l.

3.3. Cyanotoxines

De monsters van de 48 locaties zijn onderzocht op de aanwezigheid van microcystines, anatoxine-a en homo-anatoxine-a. Anatoxine-a(S) is niet bepaald, omdat een routinematige bepalingmethode ontbreekt.

De saxitoxine-analyses, die uitgevoerd zouden worden door het RIVM, zijn wegens plantechische oorzaken komen te vervallen. Dit is jammer, omdat hierdoor geen volledig overzicht van de aanwezige cyanotoxines verkregen wordt. Uit eerder onderzoek aan 12 Nederlandse meren [AquaSense, 2000] zijn echter aanwijzingen gekomen, dat saxitoxines hier - evenals in Deense meren [Henriksen *et al*, 1998] - minder frequent voorkomen dan de andere cyanotoxines.

Bij dit onderzoek is alleen het celgebonden cyanotoxine bepaald. Uit diverse onderzoeken is gebleken, dat cyanotoxines weinig of niet worden uitgescheiden en de extracellulaire concentraties relatief laag zijn [Chorus & Bartram, 1999]. Het celgebonden cyanotoxine kan bovendien accumuleren in drijflagen; het extracellulaire toxine niet (zie ook 1.4).

Anatoxines

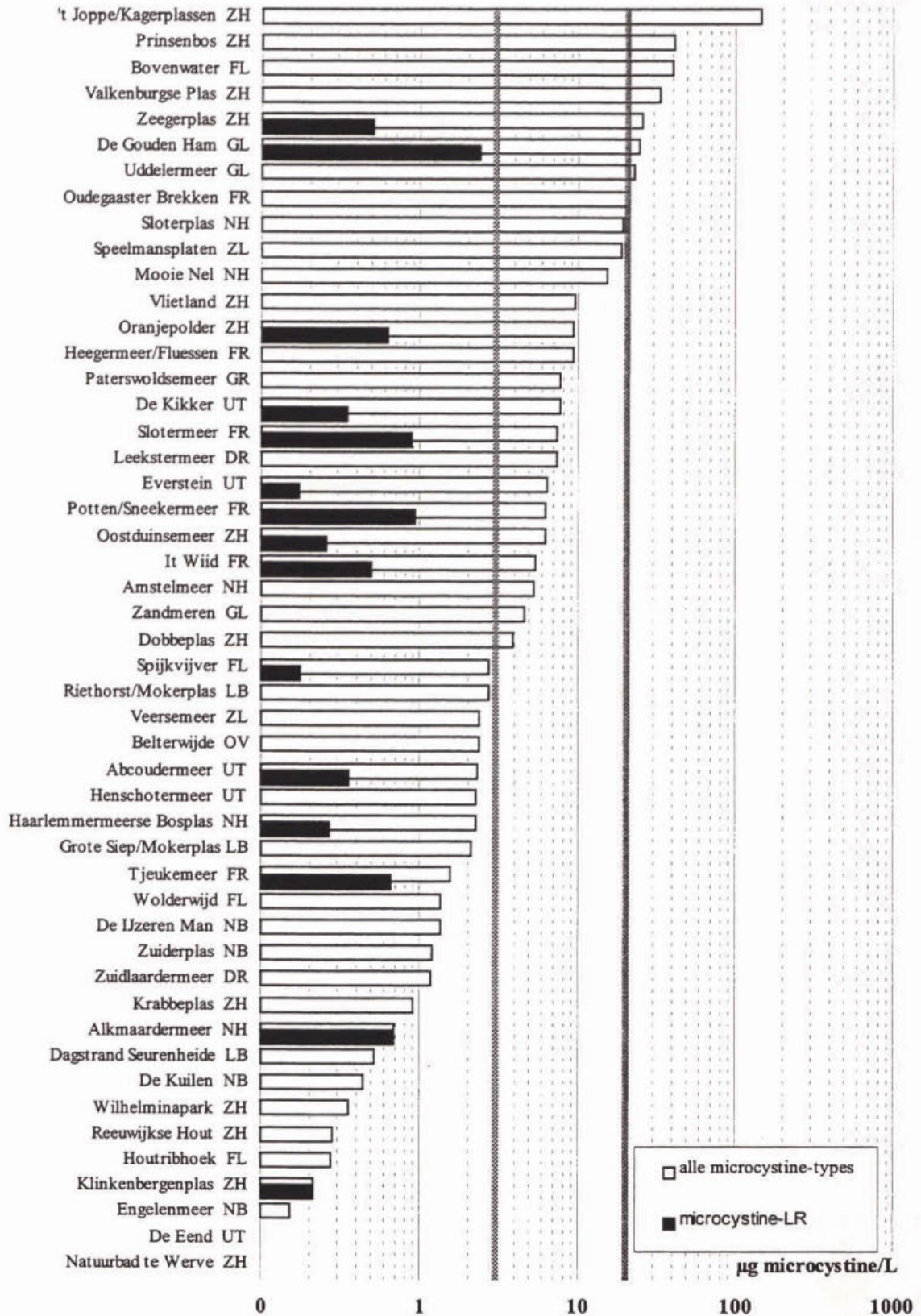
Anatoxine-a en homo-anatoxine-a kunnen voorkomen in *Aphanizomenon flos-aquae* en in enkele *Anabaena* soorten [AquaSense 1996]. In verscheidene van de hier onderzochte recreatiewateren kwamen deze blauwalgsoorten voor (zie § 3.4). Zo bestond 80% van het fytoplankton op de locatie Reeuwijkse Hout uit *Anabaena circinalis*, en 70% van het Slotermeer-fytoplankton was *Aphanizomenon flos-aquae*. In geen van de bemonsterde recreatiewateren zijn echter anatoxines aangetroffen.

Microcystines

Op bijna alle locaties zijn microcystines (MC) gevonden. De concentraties zijn weergegeven in bijlage 2 en figuur 1. De grijze lijnen in figuur 1 geven de voorlopige richtlijnen aan voor recreatiewateren, waarbij relatief milde (3 µg MC/l) en ernstiger (20 µg MC/l) gezondheidsklachten verwacht kunnen worden [Chorus & Bartram 1999]. Op locatie 't Joppe, waar het aantal potentieel toxische blauwalgen (zie § 3.4) het hoogst was, is ook de hoogste microcystine-concentratie gevonden.

Alleen de locaties Alkmaardermeer en Klinkenbergerplas bevatten uitsluitend microcystine van het type LR (zie § 1.3). In de meeste monsters bleek niet het bekende microcystine-LR voor te komen, maar een wisselend aantal onbekende microcystines. Omdat vele microcystinetypes nog niet in zuivere vorm verkrijgbaar zijn, kunnen de gevonden microcystines met de hier toegepaste HPLC-methode niet worden geïdentificeerd.

Microcystine-LR is met een LD₅₀ van 50 µg/kg (zie voetnoot op pagina 4) één van de meest toxische microcystines [Rinehart *et al* 1994; Chorus & Bartram, 1999]. De weergave in microcystine-LR equivalenten kan dan ook als een worst-case schatting van de toxiciteit beschouwd worden. Afhankelijk van de microcystine types, kan de feitelijke toxiciteit minder zijn dan deze parameter doet vermoeden. Om een misplaatst gevoel van veiligheid te voorkomen wordt hierbij aangetekend, dat ongeveer de helft van de door Rinehart *et al* [1994] gerapporteerde hepatotoxines een LD₅₀ hebben tussen 50 en 100 µg/kg; de overige LD₅₀'s liggen tussen 150 en > 1200 µg/kg.



Figuur 1. Microcystineconcentraties in 48 recreatiewateren. De grijze lijnen geven de richtlijnen voor recreatiewater van 3 en 20 µg/l, waarbij respectievelijk milde en ernstiger gezondheidsrisico's kunnen optreden [Chorus & Bartram, 1999].

3.4. Soortensamenstelling en aantallen blauwalgen

Soortensamenstelling

Uit het microscopisch onderzoek blijkt, dat op 43 van de 48 onderzochte locaties blauwalgen aanwezig waren; op 39 van de locaties zijn potentieel toxische soorten waargenomen. De volgende blauwalggeslachten of -soorten zijn daarbij als potentieel toxisch beschouwd: *Anabaena*, *Anabaeneopsis*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Gloeotrichia echinulata* en *Planktothrix agardhii* (voorheen *Oscillatoria agardhii*) [AquaSense 1996]. Bijlage 3 geeft een overzicht van de aangetroffen potentieel toxische blauwalgsoorten.

Op 15 locaties domineerden potentieel toxische blauwalgen het fytoplankton, dat wil zeggen het fytoplankton bestond voor meer dan 50% uit potentieel toxische soorten. Op 6 lokaties is zelfs 90% of meer aan potentieel toxische soorten waargenomen (bijlage 3 en tabel 5).

In tabel 6 is de procentuele samenstelling van de potentieel toxische blauwalgen als percentage van de totale fytoplanktonaantallen weergegeven. De gegevens zijn gesorteerd naar dominant geslacht of soort. Duidelijk is, dat relatief gezien veel meren met *Microcystis* en *Planktothrix agardhii* als dominerende potentieel toxische blauwalg in de selectie zijn opgenomen. In de meeste meren was één van de potentieel toxische geslachten sterk oververtegenwoordigd. Alleen in de Dobbeplass, Recreatielaan Hagstein en Vlietland, Leidschendam kon niet gesproken worden van een duidelijk dominerend geslacht, maar werden mengpopulaties van potentieel toxische geslachten aangetroffen.

Vier meren komen eruit als *Planktothrix agardhii*-gedomineerde meren, namelijk Tjeukemeer, It Wiid, Wilhelminapark en Sneekermeer/De Potten. *Microcystis* domineerde alleen in de Sloterplass en 't Joppe. In de laatste plas kwamen echter ook aanzienlijke hoeveelheden *Anabaena* voor. Slotermeer, Klinkenbergerplas en Zuidlaardermeer komen uit dit onderzoek naar voren als typische *Aphanizomenon*-meren. Daarbij moet wel opgemerkt worden, dat in de Klinkenbergerplas ook veel *Anabaena* aangetroffen is. Een duidelijke dominantie van *Anabaena* is alleen waargenomen in de Reeuwijkse Hout (Plas Broekvelden-Vettenbroek, Reeuwijkse Plassen). Dat is ook het enige meer in de selectie waar *Gloeotrichia echinulata* werd aangetroffen. Deze soort vormt bollen met een doorsnede van 0,3-1,0 cm en kan tot sterk allergische reacties bij recreanten leiden. Of dit veroorzaakt wordt door microcystines of door LPS (zie § 1.3) is niet duidelijk.

Op de locaties waar met microscopische analyses geen blauwalgen zijn gevonden, waren de fytoplanktonaantallen in het algemeen laag. De blauwalgen, die daarvan nog weer een fractie zijn, worden daardoor gemakkelijk gemist wanneer slechts 100 exemplaren gedetermineerd worden. Op grond van deze resultaten is besloten om in het onderzoek van 1999 bij de microscopische analyses meer exemplaren te analyseren (200 i.p.v. 100 exemplaren).

Tabel 5. Potentieel toxische blauwalgen als percentage van het totale fytoplankton. De resultaten zijn gesorteerd op basis van potentieel toxische cyanobacteriegeslacht of -soort, die het meest in het monster is aangetroffen. In de laatste kolom is de som van de potentieel toxische blauwalgen weergegeven.

| abundant geslacht van potentieel toxische blauwalgen | locatie | prov | Microcystis | Planktothrix | Aphanizomenon | Anabaena | Gloeothece | totaal |
|--|--------------------------|------|-------------|--------------|---------------|----------|------------|--------|
| <i>Microcystis</i> | Sloterplas | NH | 96 | | | 4 | | 100 |
| | t Joppe/Kagerplassen | ZH | 56 | | 4 | 30 | | 90 |
| | Speelmansplaten/Zoommeer | ZL | 43 | | 12 | | | 55 |
| | Valkenburgse Plas | ZH | 35 | 1 | | | | 36 |
| | Zeegerplas | ZH | 34 | | | 8 | | 42 |
| | Belterwijde | OV | 23 | | | | | 23 |
| | Uddelermeer | GLD | 20 | | | | | 20 |
| | De Gouden Ham | GLD | 17 | | | | | 17 |
| | Paterswoldsemeer | GR | 14 | 1 | 1 | | | 16 |
| | Zandmeren | GLD | 12 | | | | | 12 |
| | Spijkvijver | FL | 10 | | | 1 | | 11 |
| | Wolderwijd | FL | 2 | | | | | 2 |
| De Kikker | UT | 1 | | | | | 1 | |
| <i>Planktothrix agardhii</i> | Tjeukemeer | FR | | 90 | | | | 90 |
| | It Wiid | FR | | 79 | | | | 79 |
| | Wilhelminapark | ZH | | 73 | | | | 73 |
| | Potten/Sneekemeer | FR | | 65 | | | | 65 |
| | Amstelmeer | NH | | 46 | | | | 46 |
| | Leekstermeer | DR | | 41 | 1 | | | 42 |
| | Oranjepolder | ZH | | 35 | 1 | | | 36 |
| | Krabbeplas | ZH | | 17 | | | | 17 |
| | Oudegaaster Brekken | FR | | 12 | 3 | | | 15 |
| | Heegermeer/Fluessen | FR | 4 | 12 | | | | 16 |
| | Alkmaardermeer | NH | 1 | 6 | 1 | | | 8 |
| <i>Aphanizomenon</i> | Slotermeer | FR | | | 90 | | | 90 |
| | Klinkenbergplas | ZH | | | 75 | 19 | | 94 |
| | Zuidlaardermeer | DR | | | 58 | | | 58 |
| | Bovenwater | FL | | 1 | 9 | 1 | | 11 |
| | Oostduinsemeer | ZH | 1 | | 9 | | | 10 |
| | Dagstrand Seurenheide | LB | | | 3 | 1 | | 4 |
| | Riethorst/Mokerplas | LB | | | 1 | | | 1 |
| <i>Anabaena</i> | Reeuwijkse Hout | ZH | 3 | | | 80 | 15 | 98 |
| | Mooie Nel | NH | | | | 10 | | 10 |
| | Grote Siep/Mokerplas | LB | | | | 4 | | 4 |
| | Abcoudermeer | UT | | | 1 | 2 | | 3 |
| | De Eend | UT | | | | 1 | | 1 |
| Mengsel | Dobbeplas | ZH | | | 32 | 31 | | 63 |
| | Vlietland | ZH | 15 | | 20 | 1 | | 36 |
| | Everstein | UT | 16 | | 13 | 20 | | 49 |
| Geen | Houtribhoek | FL | | | | | | 0 |
| | Natuurbad te Werve | ZH | | | | | | 0 |
| | De IJzeren Man | NB | | | | | | 0 |
| | De Kuilen | NB | | | | | | 0 |
| | Engelenmeer | NB | | | | | | 0 |
| | Zuiderplas | NB | | | | | | 0 |
| | Veersemeer | ZL | | | | | | 0 |
| | Prinsbos | ZH | | | | | | 0 |
| Niet geanalyseerd | Henschotermeer | UT | | | | | nb | |

Aantallen blauwalgen

Voor het kwantificeren van de potentieel toxische blauwalgen is gekozen voor een combinatie van 2 methoden, namelijk microscopie en flowcytometrie. Met behulp van flowcytometrie kan een betere schatting van het aantal fytoplanktondeeltjes gemaakt worden dan met de microscoop, omdat veel meer cellen geteld worden. Nadeel van flowcytometrie is, dat vooralsnog alleen onderscheid gemaakt kan worden tussen blauwalgen en overig fytoplankton. Het is (nog) niet mogelijk routinematig te detecteren op soorts- of zelfs geslachtsniveau. Bij dominantie van bepaalde soorten of geslachten kan aan de hand van hun vorm en afmetingen wel een indicatie van het geslacht gegeven worden.

De flowcytometrisch bepaalde concentraties van blauwalgen en overig fytoplankton zijn bijeengebracht in bijlage 2. Anders dan met microscopie, zijn met flowcytometrie in alle monsters blauwalgen aangetroffen. Dit kan verklaard worden doordat bij flowcytometrie veel meer cellen geanalyseerd worden dan bij microscopie.

Met behulp van de microscopische tellingen zijn de blauwalg-aantallen uit de flowcytometrische analyses onderverdeeld in potentieel toxische en niet toxische soorten. In figuur 2 zijn de aantallen potentieel toxische blauwalgen, niet toxische blauwalgen en overig fytoplankton in de geselecteerde recreatiewateren weergegeven. Gekozen is voor een logaritmische weergave van de resultaten vanwege de enorme verschillen in dichtheden. De locaties zijn gerangschikt naar hoogste concentratie potentieel toxische blauwalgen.

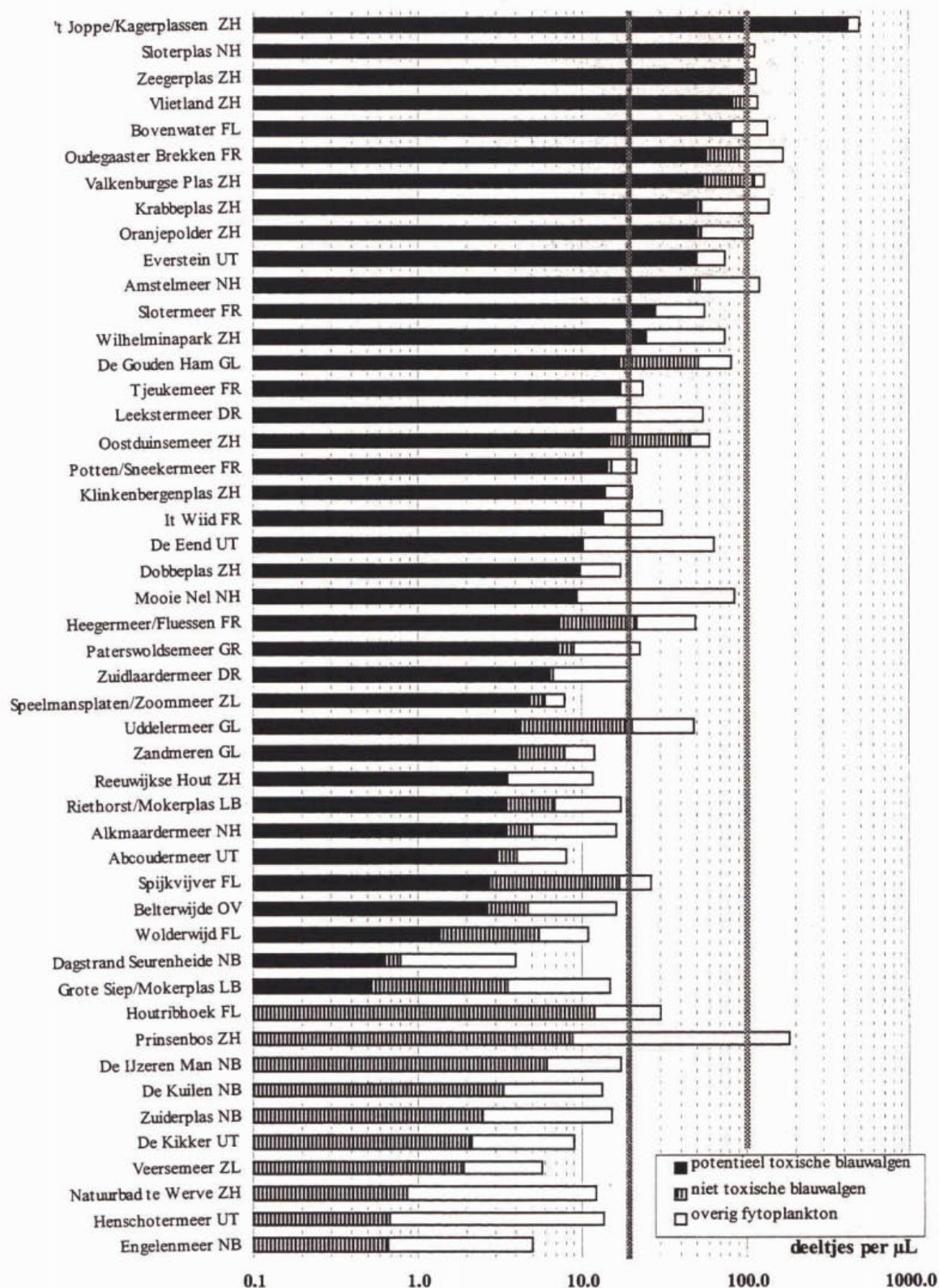
De grootste blauwalg-concentratie is aangetroffen op locatie 't Joppe, ruim 400.000 deeltjes/ml. Op deze locatie was duidelijk sprake van een begin van drijfvaagvorming in de gehele zwemzone. Het fytoplankton bestond hier grotendeels uit potentieel toxische blauwalgen, met name *Anabaena* en *Microcystis* soorten.

In opdracht van de WHO hebben Chorus & Bartram [1999] op basis van literatuuronderzoek niveaus gedefinieerd, waarboven risico's ontstaan voor respectievelijk relatief milde (20.000 cellen/ml) en ernstiger gezondheidsproblemen (100.000 cellen/ml). De grijze lijnen in figuur 1 geven deze door Chorus & Bartram [1999] omschreven richtlijnen aan. Hoofdstuk 5 gaat hier nader op in.

3.4. Cyanotoxinegehaltenes in relatie tot fytoplanktonbiomassa

Het biomassagerelateerde cyanotoxinegehalte wordt berekend door de cyanotoxineconcentratie in water te normaliseren op basis van een biomassaparameter (aantal cellen, drooggewicht, chlorofyl-a, etc). In dit rapport wordt consequent gesproken van concentraties als het gehaltenes in water betreft en van gehaltenes wanneer het gehaltenes in biomassa betreft. Het cyanotoxinegehalte biedt inzicht in de mate van toxiciteit van populaties. Aan de hand daarvan kan bijvoorbeeld een risicoschatting gemaakt worden van de toxiciteit in drijfslagen op basis van de biomassa. Ook kunnen resultaten vergeleken worden met literatuurgegevens.

De berekeningen van de gehaltenes zijn alleen uitgevoerd voor de microcystines, omdat de andere cyanotoxines niet aangetroffen of niet bepaald zijn (zie § 3.2).



Figuur 2. Deeltjesaantallen van potentieel toxische en niet-toxische blauwalgen en van overig fytoplankton in 48 recreatiewateren, berekend uit flowcytometrische bepalingen en microscopische tellingen. De grijze lijnen geven de niveaus aan waarboven risico's ontstaan voor relatief milde (20 cellen/ μ L) en voor ernstiger (100 cellen/ μ L) gezondheidsproblemen [Chorus & Bartram 1999].

Microcystinegehaltenes op basis van celaantal

Het (intracellulaire) microcystinegehalte van de potentieel toxische blauwalgdeeltjes varieerde van 0.1-5.4 pg per deeltje (figuur 3). Dit gehalte wordt niet alleen bepaald door de hoeveelheid toxine per biomassa-eenheid, maar hangt tevens af van de afmetingen van de deeltjes en van de mogelijke aanwezigheid van niet toxische soorten binnen de als potentieel toxisch beschouwde genera. Uit de hoge toxinegehaltenes zoals bijvoorbeeld in het Uddelermeer gevonden zijn, kan dan ook niet zonder meer geconcludeerd worden dat daar sterk toxische blauwalgstammen voorkomen. Het hoge gehalte kan heel goed verklaard worden door de aanwezigheid van relatief grote deeltjes zoals bijvoorbeeld kolonies.

Voor de meeste locaties was er een redelijke correlatie tussen microcystineconcentratie en aantal potentieel toxische blauwalgen (figuur 4). Op één locatie kwamen wel potentieel toxische blauwalgen voor, maar werd geen cyanotoxine gevonden. De betreffende soort, *Anabaena compacta*, was blijkaar een niet toxische soort.

Figuur 4 laat zien dat op 7 locaties wél microcystine is aangetroffen, terwijl bij het microscopisch onderzoek geen potentieel toxische blauwalgen zijn gevonden. Een aannemelijke verklaring hiervoor is, dat bepaalde toxische blauwalgen bij het microscopisch onderzoek niet zijn gevonden of herkend. Deze verklaring wordt ondersteund doordat in de betreffende monsters met flowcytometrie wel blauwalgen gevonden zijn. Een andere mogelijkheid is, dat de als niet-toxisch beschouwde groep blauwalgen toch soorten omvat die microcystines kunnen produceren. Een derde mogelijke verklaring, dat stoffen onterecht als microcystines gedetecteerd zijn lijkt niet erg waarschijnlijk. Fastner (persoonlijke mededeling) analyseerde microcystine-achtige verbindingen uit HPLC-analyses met MALDI-TOF MS¹ en toonde aan dat het steeds daadwerkelijk microcystines waren.

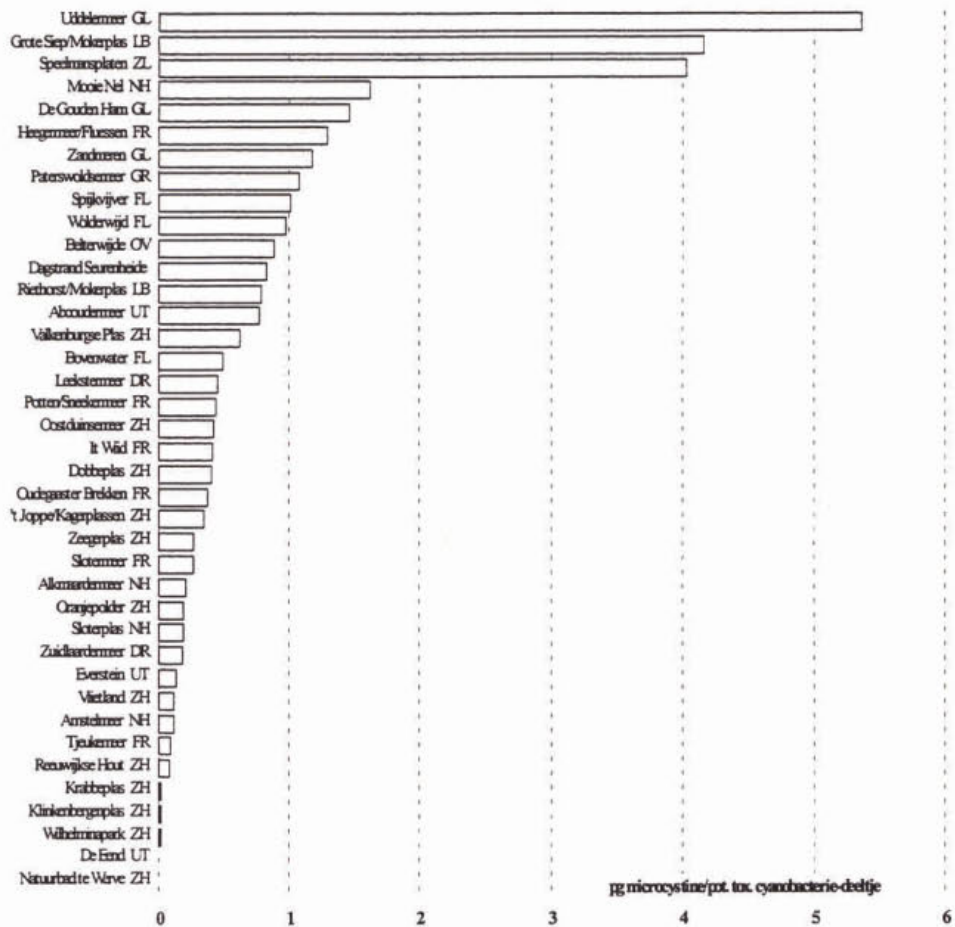
Microcystinegehaltenes op basis van asvrij drooggewicht

Het microcystinegehalte van het seston genormaliseerd op basis van asvrij drooggewicht varieerde van 0 tot 2,7 µg/mg AFDW (2). De hoogste waarden (> 2 µg/mg AFDW) zijn gevonden in de Valkenburgse plas (ZH), Zeegerplas (ZH), Gouden Ham (GLD) en de Zandmeren (GLD). Deze waarden zijn relatief hoog in vergelijking met de resultaten van een onderzoek in 100 Deense meren [Henriksen 1996]. Daarin is een maximum van 1,6 µg/mg DW gevonden. De hogere waarden in het hier beschreven onderzoek zijn wellicht toe te schrijven aan het gebruik van AFDW in plaats van DW als biomassaparameter.

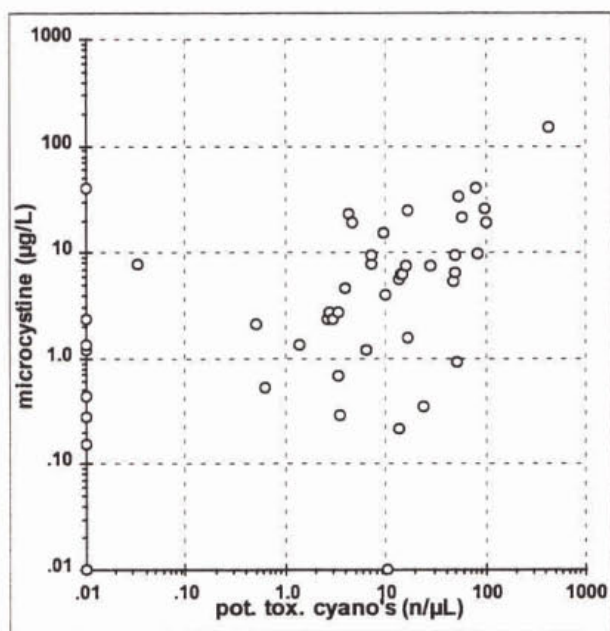
Microcystinegehaltenes op basis van chlorofyl-a

Het microcystinegehalte genormeerd naar de chlorofyl-a concentratie varieerde van 0 tot 1,3 µg/µg CHL-a (bijlage 2) met een gemiddelde van 0,22 µg/µg CHL-a. Chorus & Bartram [1999] houden een verhouding van 0,3 tot 0,4 tussen microcystine en chlorofyl aan bij het vaststellen van richtlijnen, terwijl een verhouding van 1,0 aangeduid wordt als hoogtoxisch. Op grond daarvan kunnen de populaties van Oostduinsemeer (ZH), Zeegerplas (ZH) en Uddelermeer (GLD) gekenschetst worden als hoog toxisch. Bij de populaties met hoge microcystineconcentraties (>20 µg/l) bleek de relatie tussen microcystine en chlorofyl vaak lager dan aangehouden door Chorus en Bartram [1999]. Enige voorzichtigheid bij het afleiden van conclusies over microcystine-risico's uit chlorofylgegevens blijft dus geboden.

¹ Matrix Assisted Laser Desorption/Ionization-Time of Flight Mass Spectrometry, een techniek waarmee verbindingen geïdentificeerd kunnen worden.



Figuur 3. Microcystinegehalten van de potentieel toxische blauwalgen.



Figuur 4. De microcystineconcentratie in relatie tot het aantal potentieel toxische blauwalgen.

| locatie | prov | dominante potentieel toxische blauwalg(en) | 1998 | 1999 |
|--------------------------|-------|--|--------------------------------------|--|
| ZH | ZH | <i>Microcystis</i> | <i>Microcystis</i> | <i>Microcystis</i> |
| De Gouden Ham | GLD | <i>Microcystis</i> | <i>Microcystis</i> | <i>Microcystis</i> |
| Zwembad De Kikker | UT | <i>Microcystis</i> | <i>Microcystis</i> | <i>Microcystis</i> |
| Sloterplas | NH | <i>Microcystis</i> | <i>Microcystis</i> | <i>Microcystis</i> / <i>Anabaena</i> |
| Zwemplas De Eend | UT | <i>Anabaena</i> | <i>Anabaena</i> | <i>Microcystis</i> / <i>Anabaena</i> |
| Potten/Sneekermeer | FR | <i>Planctothrix agardhii</i> | <i>Planctothrix agardhii</i> | <i>Planctothrix agardhii</i> |
| Leekstermeer | DR | <i>Planctothrix agardhii</i> | <i>Planctothrix agardhii</i> | <i>Planctothrix agardhii</i> |
| Zuidlaardermeer | DR/GR | <i>Aphanizomenon</i> | <i>Aphanizomenon</i> | <i>Planctothrix agardhii</i> |
| Slotermeer | FR | <i>Aphanizomenon</i> | <i>Aphanizomenon</i> | <i>Planctothrix agardhii</i> |
| Zeegerplas | ZH | <i>Microcystis</i> | <i>Microcystis</i> | <i>Planctothrix agardhii</i> |
| Haarlemmermeerse Bosplas | NH | <i>Microcystis</i> / <i>Anabaena</i> | <i>Microcystis</i> / <i>Anabaena</i> | <i>Planctothrix</i> / <i>Aphanizomenon</i> |
| Heegmeer/Fluessen | FR | <i>Planctothrix agardhii</i> | <i>Planctothrix agardhii</i> | <i>Planctothrix agardhii</i> |
| Oudegaster Breken | FR | <i>Planctothrix agardhii</i> | <i>Planctothrix agardhii</i> | <i>Planctothrix agardhii</i> |

Tabel 5. Locaties cyanotoxine-monitoring 1998 en 1999 met meest voorkomende potentieel toxische soort en/of geslacht.

Op grond van de in 1998 gemeten cyanotoxineconcentraties, blauwalg-samenstelling en enkele praktische aspecten zijn locaties voor het vervolgonderzoek in 1999 geselecteerd. Het betrof de locaties 't Joppe, Gouden Ham en Sloterplas, drie wateren waarin in 1998 de microcystineconcentratie de voorgestelde richtlijn voor recreatiewater benaderde of overschreed en waarin *Microcystis* de dominante blauwalg was.

Mede dankzij (financiële) ondersteuning van verschillende waterbeheerders is het vervolgonderzoek uitgebreid tot 11 locaties. Tabel 5 geeft een overzicht van de locaties waar in 1998 en/of 1999 cyanotoxineconcentraties zijn gevolgd.

4.1. Locaties

Inzicht in de snelheid waarmee gevaarlijke toxineconcentraties kunnen ontstaan is van belang bij het vaststellen van een bemonsteringsfrequentie voor recreatiewateren met blauwalgproblemen. In een verkennend onderzoek in 1998 werd vastgesteld dat cyanotoxineconcentraties op bepaalde locaties in korte tijd sterk kunnen veranderen. Daarom is in 1999 op een aantal locaties het verloop van de cyanotoxineconcentratie in de periode mei - oktober tweeweekelijkse gevolgd. Daarbij zijn ook aantallen en samenstelling van het fytoplankton bepaald en fysisch-chemische parameters verzameld. In dit hoofdstuk wordt zowel het inleidende onderzoek in 1998 als de uitgebreidere monitoring in 1999 beschreven. De volledige resultaten zijn bijengebracht in de bijlagen 5, 6a en 6b.

4. Resultaten onderzoek temporele variatie

4.2. Seizoensverloop van de cyanotoxineconcentratie

In geen van de monsters uit het onderzoek van 1998 zijn anatoxines aangetroffen. Op grond daarvan is besloten geen anatoxine-analyses uit te voeren in het temporele onderzoek. Saxitoxine-analyses zijn niet uitgevoerd om redenen van plantechische aard.

Microcystineconcentratie

Figuur 5 toont het verloop van de microcystineconcentratie op de bemonsterde locaties in 1998 en 1999. Alle gegevens zijn tevens opgenomen in bijlagen 4 en 5. Ter vergelijking zijn ook de eenmalige metingen uit het geografisch verspreidingsonderzoek in de figuren opgenomen.

Op alle locaties is microcystine aangetroffen. De hoogste microcystineconcentratie in 1999 (42 µg/l) is gemeten op 19 augustus in zwemplas De Eend (Kamerik). In 1998 zijn soms hogere microcystineconcentraties gevonden, met een maximum van 147 µg/l op 27 juli 1998 op de locatie 't Joppe (zie hoofdstuk 3).

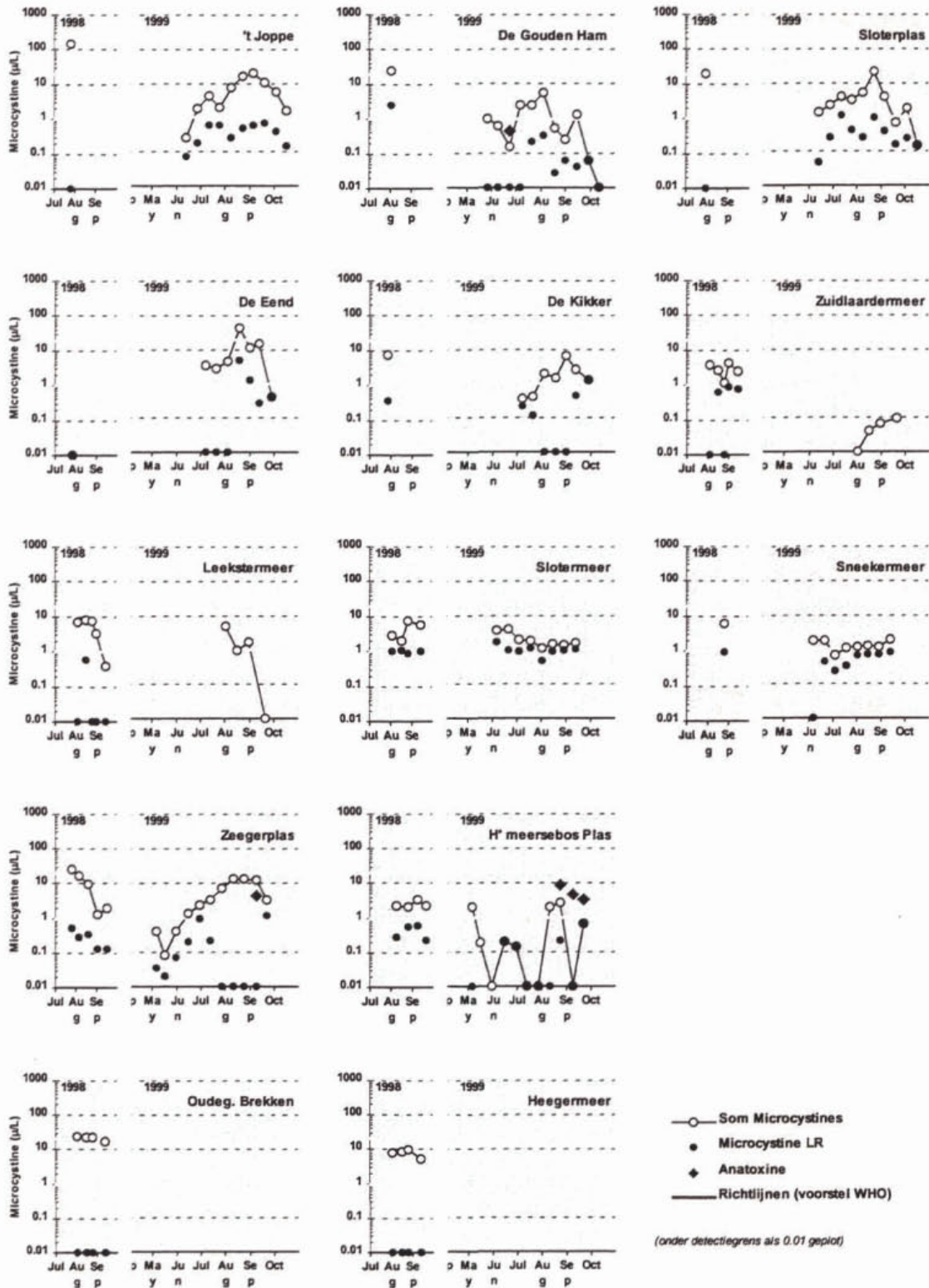
De door Chorus & Bartram [1999] voorgestelde richtlijnen voor microcystine-concentraties in recreatiewateren van respectievelijk 3 en 20 µg/l zijn in figuur 5 met grijze lijnen aangegeven. Bij deze concentraties kunnen respectievelijk milde en ernstiger gezondheidsklachten bij recreanten verwacht worden. De richtlijn van 3 µg/l is in de periode 1998-1999 in alle locaties één of meer keren overschreden. In het Zuidlaardermeer, het Sneekermeer en de Haarlemmermeersebos Plas vond in 1999 geen overschrijding van de onderste richtlijn plaats.

De richtlijn van 20 µg/l, waarbij ernstiger klachten bij recreanten verwacht kunnen worden, werd in 1998 op 2 locaties benaderd of overschreden (Zeegerplas en Oudegaaster Brekken), en in 1999 op 3 locaties: 't Joppe (Kagerplassen), Sloterplas (Amsterdam) en zwemplas De Eend (Kamerik).

In figuur 5 is ook het aandeel van het meest bekende microcystinetype, microcystine-LR weergegeven. Slechts in enkele gevallen was uitsluitend dit sterk toxische microcystine aanwezig. Blauwalgpopulaties met uitsluitend microcystine-LR als toxine kwamen vooral voor in de Haarlemmermeersebos Plas. Meestal bestond echter een belangrijk deel van het aanwezige microcystine uit diverse andere types, die met de in dit onderzoek toegepaste methode wel zijn te detecteren, maar niet te identificeren.

Het verloop van de microcystineconcentratie in de tijd laat opvallend verschillende patronen zien. In de Zeegerplas en de Sloterplas is sprake van een wekenlang regelmatig, bijna exponentieel toenemende toxineconcentratie. Op andere locaties zoals de Haarlemmermeersebos Plas en De Gouden Ham blijken toxineniveaus binnen twee weken te kunnen ontstaan, en ook weer verdwijnen. In het Slotermeer en het Sneekermeer zijn de microcystineconcentraties laag en constant over de gehele monsterperiode. Op enkele locaties is de meetserie te laat gestart om een duidelijk beeld te verkrijgen over een belangrijk aspect van de toxinevariabiliteit: de snelheid van opbouw aan het begin van het groeiseizoen.

Op 7 locaties werd vanaf half augustus of begin september 1999 een afname van de microcystineconcentraties gevonden. In oktober lagen de meeste microcystine-concentraties rond of onder 1 µg/l.



Figuur 5. Verloop van de microcystineconcentratie op 13 locaties in 1998 en 1999. Oudegaaster Brekken en Heegermeer waren niet bij het onderzoek van 1999 betrokken.

Hoewel de dataset van 1998 beperkt is, zijn toch duidelijke verschillen in de patronen in 1998 en 1999 waar te nemen. Zo was de microcystineconcentratie in het Zuidlaardermeer in 1998 relatief hoog en constant, terwijl in 1999 pas laat in het seizoen een opbouw te zien was tot relatief lage microcystineconcentraties. Ook in de Haarlemmermeersebos Plas werd in 1998 een relatief hoge en constante microcystineconcentratie gevonden, terwijl de concentratie in 1999 zeer variabel was. Mogelijk is het wisselende patroon in 1999 toe te schrijven aan de plaatsing van bellenschermen. In het Leekstermeer bleef de microcystine-concentratie in 1998 langer op een hoog niveau dan in 1999. In de Zeegerplas was dat juist omgekeerd, in 1999 werden tot half september nog hoge microcystineconcentraties gevonden, terwijl in 1998 de afname al vanaf begin september was waar te nemen.

Uit dit onderzoek kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Op geen van de locaties zijn vóór juni belangrijke hoeveelheden microcystine gevonden. Routinematige analyses vóór juni lijken dan ook niet noodzakelijk, temeer daar in die periode ook nog niet veel recreatie in het oppervlaktewater plaatsvindt. Hogere microcystineconcentraties zijn echter niet uit te sluiten, zodat cyanotoxineanalyse in incidentele gevallen nuttig blijft.
- Het verloop van de microcystineconcentraties is verschillend op de geteste locaties.
- Het verloop van de microcystineconcentraties verschilt van jaar tot jaar.
- De maximale microcystineconcentraties op een bepaalde locatie verschillen van jaar tot jaar.

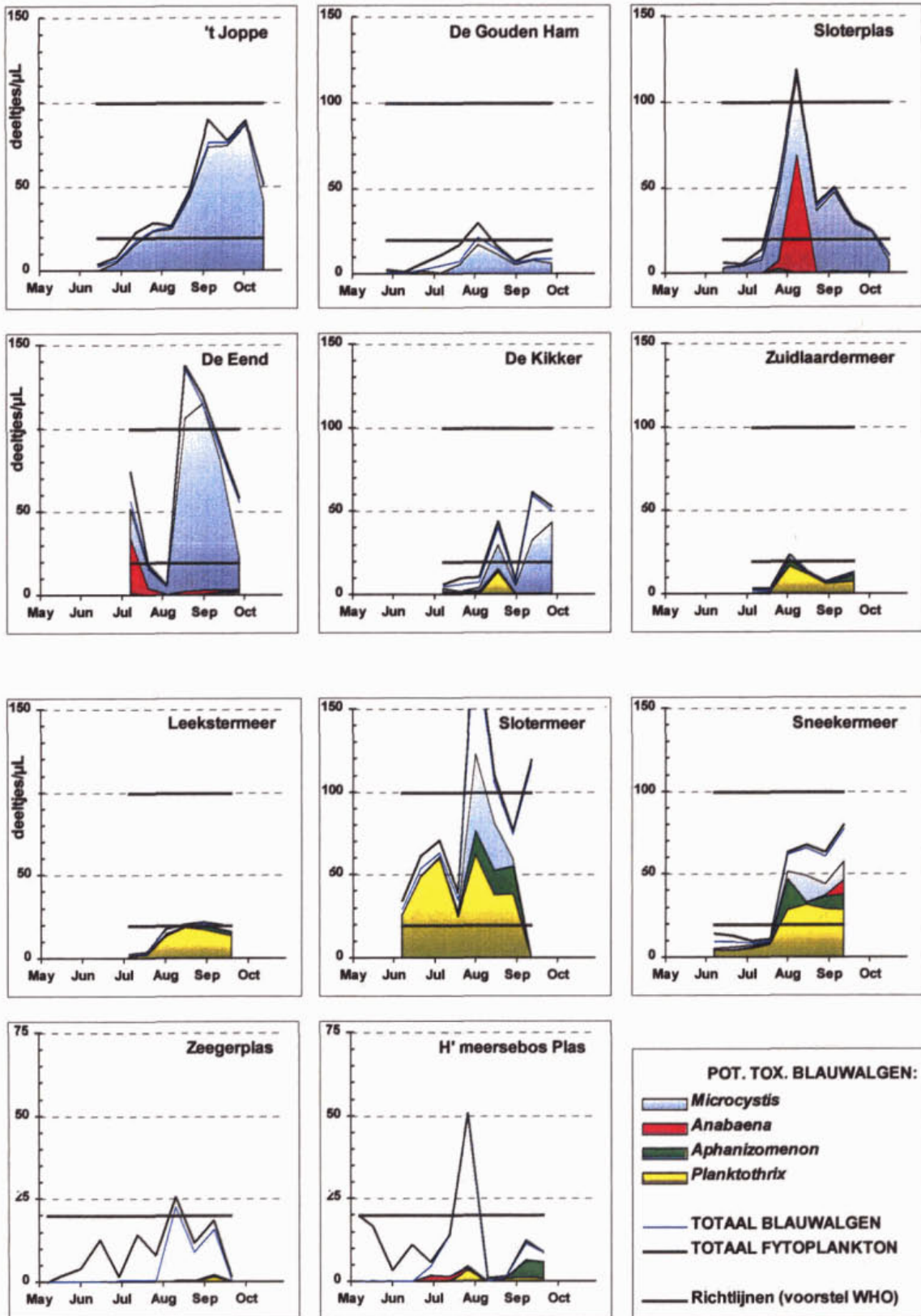
Deze laatste drie punten geven aan, dat uit de resultaten van voorgaande jaren geen conclusies omtrent actuele situaties getrokken kunnen worden.

4.3. Seizoensverloop van de fytoplanktensamenstelling

In 1998 zijn voor het temporele onderzoek geen fytoplanktonanalyses uitgevoerd. Daarom worden alleen fytoplanktongegevens van het onderzoek in 1999 besproken.

Uit de flowcytometrische data en de microscopische bepaling van de fytoplanktensamenstelling in 1999 zijn de concentraties van de verschillende potentieel toxische blauwalgen, de niet-toxische blauwalgen en het overige fytoplankton berekend. De resultaten zijn weergegeven in figuur 6.

De Zeegerplas en de Haarlemmermeersebos Plas zijn vanaf 7 mei bemonsterd. In de eerste monsters van deze locaties zijn geen potentieel toxische blauwalgen aangetroffen. Deze waren pas aanwezig vanaf 16 juni in de Haarlemmermeersebos Plas, en vanaf 30 juni in de Zeegerplas. De Gouden Ham is op 27 mei voor het eerst bemonsterd. Potentieel toxische blauwalgen zijn toen nog niet aangetroffen, twee weken later, en op alle monsterdatums daarna wel. Op de locaties 't Joppe, Sloterplas, De Eend, De Kikker, Zuidlaardermeer, Leekstermeer, Slotermeer en Sneekermeer werd pas tussen 14 juni en 8 juli met bemonsteren begonnen. Hier waren op alle monsterdatums potentieel toxische blauwalgen aanwezig.



Figuur 6. Verloop van de aantallen potentieel toxische blauwalgen op 11 locaties in 1999.

Chorus & Bartram [1999] hebben op basis van literatuuronderzoek blauwalgconcentraties gedefinieerd, waarboven in recreatiewateren risico's ontstaan voor relatief milde en voor ernstiger gezondheidsproblemen. Deze richtlijnen, respectievelijk 20 en 100 cellen/ μL , zijn met grijze lijnen aangegeven in figuur 6. De onderste richtlijn betreft alle blauwalgen, de bovenste richtlijn alleen de potentieel toxische (zie hoofdstuk 5).

Op alle onderzochte locaties werd de blauwalgdichtheid, waarbij milde gezondheidsproblemen zouden kunnen optreden, overschreden. In de Gouden Ham, het Zuidlaardermeer, het Leekstermeer, de Zeegerplas en de Haarlemmermeersebos Plas waren de overschrijdingen incidenteel. Op de locaties 't Joppe, Sloterplas, De Eend, De Kikker, Slotermeer en Sneekermeer werd dit niveau meerdere malen overschreden.

In de Sloterplas, De Eend en het Slotermeer werd ook de concentratie potentieel toxische blauwalgen, waarbij gevaar bestaat voor ernstiger gezondheidsrisico's, overschreden. Een aanzienlijke overschrijding van deze richtlijn, zoals in 't Joppe in 1998 (ruim 400 blauwalgdeeltjes/ μL) is in 1999 niet waargenomen. De hoogste blauwalgdichtheid in 1999 is gemeten op 2 augustus in het Slotermeer, 123 deeltjes/ μL .

4.4. *Microcystinegehaltenes*

Door de gemeten microcystineconcentratie te delen door het aantal potentieel toxische blauwalgen kan het microcystinegehalte van de blauwalgdeeltjes worden geschat. Het microcystinegehalte van de potentieel toxische blauwalgdeeltjes varieerde in 1999 van bijna 50 tot minder dan 0.0002 pg per deeltje. Dit grote verschil kan goed verklaard worden door de sterk verschillende afmetingen van de blauwalgen. Flowcytometrisch werden blauwalgdeeltjes waargenomen van minder dan $1\mu\text{m}$, maar ook van meer dan $100\mu\text{m}$, in biovolume is dat een verschil van een factor 10^6 .

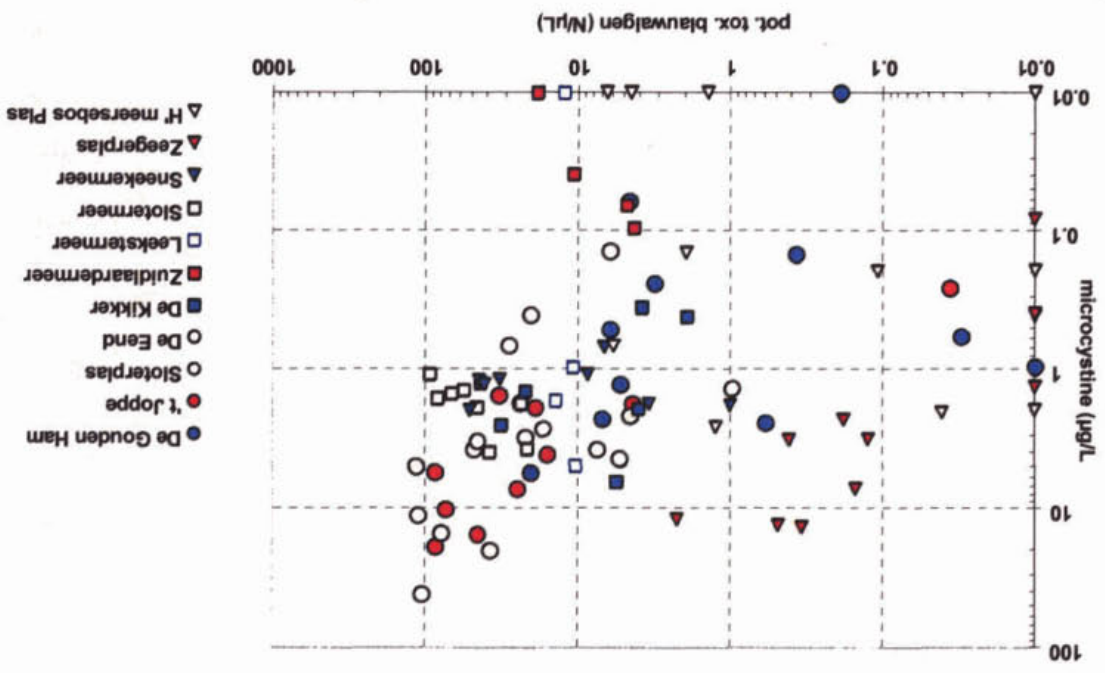
Een microcystinegehalte van 50pg/deeltje is hoog maar geen onrealistische waarde. Een kolonie van 160 *Microcystis* cellen zou bij een niet ongebruikelijk microcystinegehalte van 0.3 pg/cel [Vasconcelos 1995] een dergelijk microcystinegehalte hebben. Er kan echter ook sprake zijn van een hoog cellulair toxinegehalte door de aanwezigheid van niet als zodanig herkende toxische blauwalgen.

In figuur 7 is de microcystineconcentratie van de in 1999 bemonsterde locaties uitgezet tegen de aantallen potentieel toxische blauwalgen. Hoewel de spreiding aanzienlijk is laten de meeste locaties wel een verband zien tussen deze parameters.

De op de X-as van figuur 7 gelegen punten zijn monsters waarin geen microcystine is gevonden terwijl wel potentieel toxische blauwalgen zijn waargenomen. Soms gaat het daarbij om vrij hoge dichtheden van de blauwalgen. Op 3 augustus 1999 is in het Zuidlaardermeer bij 19 potentieel toxische blauwalgdeeltjes/ μL geen microcystine gevonden. De potentieel toxische blauwalgen waren toen *Aphanizomenon* en *Planktothrix agardhii*. Ook in aanwezigheid van de andere als potentieel toxisch beschouwde blauwalg-genera zijn zulke blijkbaar toxinevrije populaties aangetroffen. Opmerkelijk genoeg worden bij *Microcystis*-populaties alleen bij zeer lage dichtheden toxinevrije populaties aangetroffen. Het voorkomen van toxinevrije stammen van potentieel toxische blauwalgen is bekend uit de literatuur [AquaSense 1996].

De op de Y-as van figuur 7 gelegen punten zijn monsters waarin microcystine is gevonden terwijl geen potentieel toxische blauwalgen zijn waargenomen. Dit is uitsluitend aan het begin van het groeiseizoen gevonden, namelijk tussen 7 mei en 16 juni in Zeegerplas (4 monsters), Haarlemmermeersebos Plas (2 monsters) en De Gouden Ham (1 monster). Blijkbaar komen hier in die periode toxische blauwalgen voor die niet als zodanig zijn herkend. Ook de hoge toxineconcentraties bij betrekkelijk lage aantallen potentieel toxische blauwalgen lijken op het voorkomen van niet herkende toxische blauwalgen op deze locaties te wijzen (zie ook § 3.4).

toxicconcentraties bij betrekkelijk lage aantallen potentieel toxische blauwalgen lijken op het voorkomen van niet herkende toxische blauwalgen op deze locaties te wijzen (zie ook § 3.4).



Figuur 7. De relatie tussen het aantal potentieel toxische blauwalgen en de microcystine-concentratie op 11 locaties in 1999.

5. Discussie

In dit hoofdstuk zijn de in het onderzoek verzamelde gegevens afgezet tegen de voorlopige richtlijnen zoals geformuleerd door de WHO [Chorus & Bartram, 1999]. De richtlijnen betreffen cyanotoxineconcentraties (§ 5.1) en blauwalgendichtheden (§ 5.2).

Vaak wordt aangenomen, dat cyanotoxines alleen voorkomen bij hogere temperaturen, een laag doorzicht, hoge blauwalgendichtheden en hoge chlorofyl- en/of fosfaatconcentraties. Een aantal van deze parameters is opgenomen in beslisschema's: [NRA, 1990; WHO in Chorus & Bartram, 1999]. In § 5.3 is nagegaan of deze parameters een indicatie kunnen geven van een mogelijk risicovolle microcystineconcentratie.

5.1. Richtlijnen voor microcystine-concentraties in recreatiewater

Aangezien geen anatoxines en saxitoxines zijn aangetroffen en/of bepaald, zijn alleen de resultaten met betrekking tot microcystines bediscussieerd.

Op basis van een NOAEL-waarde (No Observed Adverse Effect Level) in een assay met orale toediening van pure microcystine-LR aan muizen is door Fawell *et al* [1994] voor de mens een voorlopige TDI-waarde van 0.04 µg microcystine per kg lichaamsgewicht per dag berekend. Bij levenslange inname van meer dan deze Tolerable Daily Intake zijn schadelijke gezondheidseffecten te verwachten. Met deze TDI-waarde kan de door de WHO voorgestelde voorlopige microcystinerichtlijn voor drinkwater (1.0 µg/l) worden afgeleid [WHO 1998, Chorus and Bartram 1999]. Deze microcystine-concentratie is ingetekend in de figuren 2 en 5.

In 37 van de 48 in 1998 eenmalig onderzochte recreatiewateren (77%) werd dit niveau overschreden. Tijdens het monitoringsonderzoek in 1999 kwam op alle locaties gedurende korte of langere tijd een overschrijding van deze richtlijn voor, behalve in het Zuidlaardermeer.

Chorus and Bartram [1999] geven aan dat vanaf een microcystineconcentratie in recreatiewater van 20 µg MC/l alertheid geboden is op mogelijke gezondheidsrisico's. Bij dit toxineniveau kan een in het water spelend kind blootgesteld worden aan ruwweg 10× de TDI. Deze microcystineconcentratie is ook ingetekend in de figuren 2 en 5. In 10 van de 48 in 1998 eenmalig onderzochte recreatiewateren (21%) werd dit niveau benaderd of overschreden. Tijdens het temporele onderzoek in 1999 is deze richtlijn op 3 van de 11 locaties (27%) overschreden.

Bij vorming van drijfvlagen kunnen cyanotoxineconcentraties toenemen met een factor 1000 of meer en kan gevaar voor ernstige acute intoxicatie niet uitgesloten worden. Geadviseerd wordt in zulke gevallen een waarschuwing uit te laten gaan en een zwemverbod te overwegen.

5.2. Richtlijnen voor blauwalgendichtheden in recreatiewater

Vanaf een concentratie van 20 blauwalgcellen/µL bestaat de kans op diverse 'milde ongemakken' als huiduitslag, griepachtige symptomen en maag/darm problemen. Deze blauwalgconcentratie is ingetekend in figuren 1 en 6. De waarde is afgeleid uit een epidemiologische studie van Pilotto [1997]. De symptomen lijken niet alleen door cyanotoxines, maar ook door andere irriterende of allergene bestanddelen van blauwalgen te worden veroorzaakt. De grens van 20 cellen/µL geldt dan ook voor alle blauwalgen, toxische en niet-toxische. Aanbevolen wordt om boven dit niveau waarschuwingborden te plaatsen en de relevante autoriteiten te waarschuwen.

In 17 van de 48 in 1998 eenmalig onderzochte recreatiewateren (35%) werd dit niveau overschreden. Tijdens het monitoringsonderzoek in 1999 kwam op alle locaties gedurende korte of langere tijd een overschrijding van deze richtlijn voor.

Vanaf een guidance level van 100 blauwalgcellen/ μ L bestaat, bij herhaalde blootstelling aan blauwalgen door doorslikken of inhaleren, de kans op ernstiger, door cyanotoxines veroorzaakte symptomen zoals leverschade. Deze blauwalgconcentratie is ook ingetekend in figuren 1 en 6. Deze waarde is afgeleid uit *i*) de voorlopige WHO richtlijn voor drinkwater (1 μ g/l microcystine-LR), *ii*) de in blauwalgen te verwachten toxineconcentraties, en *iii*) een schatting van de hoeveelheid water die zwemmers onvrijwillig naar binnen kunnen krijgen. Aanbevolen wordt om boven dit niveau beperkende maatregelen voor de recreatie te overwegen, mogelijke gezondheidsproblemen te onderzoeken, en alert te zijn op de vorming van drijfslagen.

In 2 van de 48 in 1998 eenmalig onderzochte recreatiewateren (4%) is dit niveau overschreden. Het betreft de locaties 't Joppe en Sloterplas met respectievelijk 427 en 102 potentieel toxische blauwalgen/ μ L. De locaties Zeegerplas, Vlietland en Bovenwater kwamen dicht in de buurt van deze richtlijn, met respectievelijk 96, 83 en 82 toxische blauwalgen/ μ L. Tijdens het monitoringsonderzoek in 1999 werd op 3 van de 11 onderzochte locaties (27%) deze richtlijn overschreden.

Hierbij moet wel aangetekend worden dat de WHO-richtlijnen uitgedrukt worden in blauwalgcellen per μ L. In het huidige onderzoek zijn – zoals bij de meeste fytoplanktonanalyses – zowel met de microscoop als met de flowcytometer blauwalg-deeltjes geteld en geen cellen. Deze deeltjes bestaan meestal uit meerdere cellen (kolonies, filamenten, coenobia). De aantallen gevallen van overschrijding en de mate van overschrijding zullen dus in werkelijkheid groter geweest zijn.

Voorts kunnen de afmetingen van cellen en daarmee de cyanotoxinegehaltenes per cel behoorlijk variëren. Zelfs binnen het geslacht *Microcystis* kunnen biovolumeverschillen van een factor 4 gevonden worden. De verschillen in biovolume van cellen van bijvoorbeeld *Microcystis* en *Anabaena* zijn nog veel groter. Op grond hiervan moeten richtlijnen op basis van cel aantallen voorzichtig gehanteerd worden.

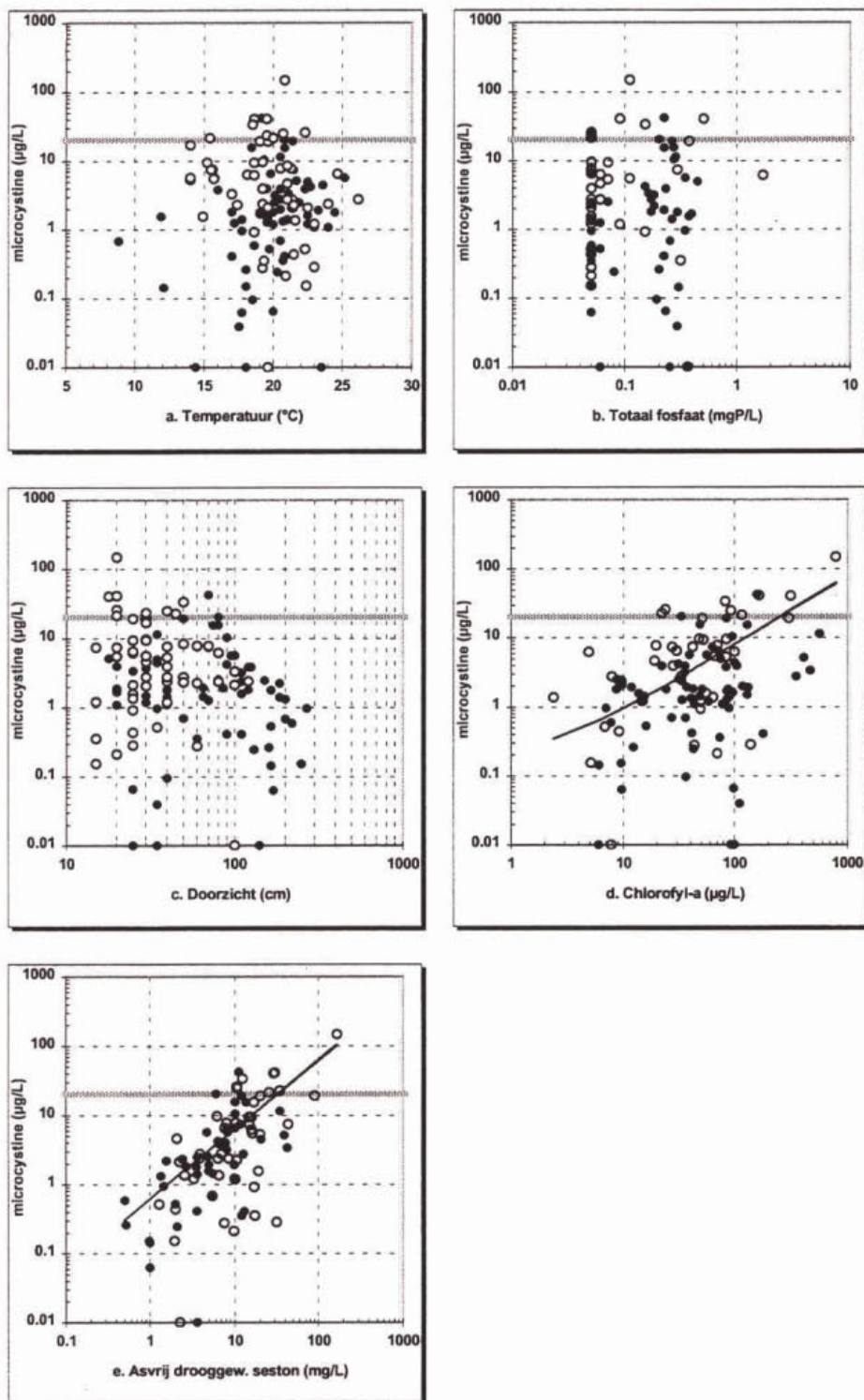
5.3. Indicaties voor gevaarlijke cyanotoxine niveaus

In dit onderzoek werden de fysisch-chemische parameters temperatuur, doorzicht, totaal-fosfaat en chlorofyl-a bepaald. Dit was om na te gaan in hoeverre de kans op gevaarlijke cyanotoxine-niveaus voor recreanten voorspeld kan worden op basis van relatief eenvoudig te bepalen parameters, die wellicht reeds in bestaande monitoring-programma's worden gemeten. Tevens is de voorspellende waarde van seston asvrij drooggewicht en een aantal flowcytometrische parameters getoetst. In figuur 8 zijn de in 1998 en 1999 gemeten microcystineconcentraties uitgezet tegen de op hetzelfde moment gemeten waarden van bovengenoemde parameters.

Figuur 8a laat zien dat de temperatuur weinig voorspellende waarde heeft met betrekking tot cyanotoxine risico's. Op de locatie Oudegaaster Brekken werd bij een watertemperatuur van 15.4 °C een microcystineconcentratie boven de richtlijn gemeten. Overigens betreffen de hoge microcystineconcentraties rond 15°C in het hier besproken onderzoek steeds metingen bij dalende watertemperatuur laat in het groeiseizoen, mogelijk veroorzaakt door blauwalggroei in de periode daarvoor. Lage temperaturen geassocieerd met hoge microcystineconcentraties zijn ook bekend van andere onderzoeken. Codd [persoonlijke mededeling] meldde een sterfgeval van een koe als gevolg van microcystine-intoxicatie in december bij een temperatuur van 6 °C.

Ook de totaal fosfaat concentratie (figuur 8b) lijkt geen bruikbare indicator voor het inschatten van cyanotoxine risico's. Vele malen werd de 20 μ g/l microcystine richtlijn overschreden bij een totaal-P-concentratie onder het detectieniveau van 0.05 mg/l.

Op basis van het doorzicht (figuur 8c) lijkt wel een inschatting van de cyanotoxine risico's mogelijk. Bij een doorzicht van meer dan 80 cm zijn geen microcystineconcentraties boven de richtlijn gemeten. De hoogste bij dit doorzicht gemeten microcystine-concentratie was 19.3 μ g/l op 24 augustus 1999 in de Sloterplas (Amsterdam).

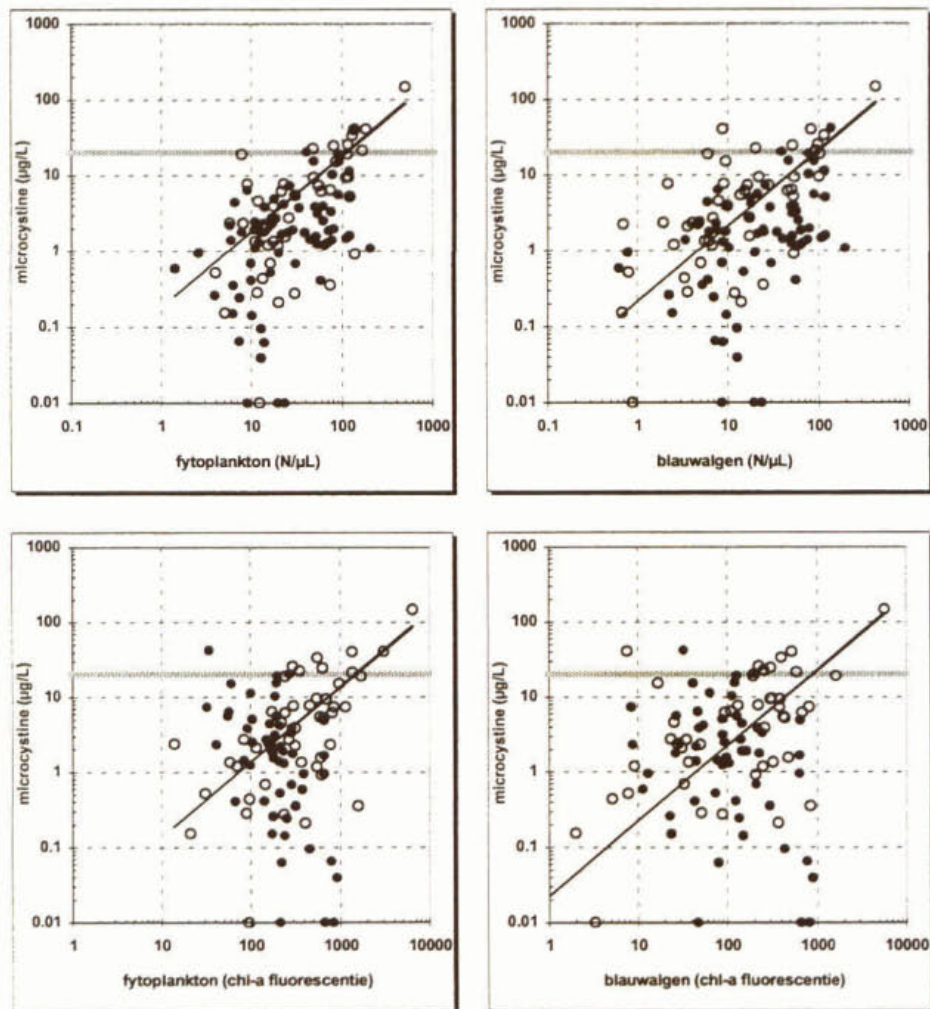


Figuur 8. Temperatuur (a), doorzicht (b), totaal fosfaat (c) chlorofyl-a (d) en asvrij drooggewicht seston (e) van de geselecteerde locaties, uitgezet tegen de microcystine concentratie. Open symbolen 1998, gevulde symbolen 1999. De grijze lijn is de door Chorus and Bartram [1999] voorgestelde microcystinerichtlijn (20 µg MC/l) voor recreatiewater.

De chlorofylconcentratie (figuur 8d) toont een zichtbare correlatie met de microcystineconcentratie. Vanaf chl-a concentraties van 22 $\mu\text{g/l}$ wordt de grens van 20 $\mu\text{g/l}$ microcystine overschreden. Bij een richtlijn van 50 $\mu\text{g chl-a/l}$ [Chorus and Bartram 1999] zouden 2 van de 12 hoogtoxische populaties "gemist" zijn (vals negatief). Daarom lijkt 20 $\mu\text{g chl-a/l}$ een betere richtlijn. Bij een richtlijn van 50 $\mu\text{g chl-a/l}$ zou in 48% van de monsters nader onderzoek uitgevoerd moeten worden; bij een richtlijn van 20 $\mu\text{g chl-a/l}$ in 75% van de monsters.

Ook het asvrij drooggewicht (AFDW) van het seston (figuur 8e) toont een correlatie met microcystine. Bij minder dan 6 mg/l seston-AFDW kwam geen richtlijnoverschrijdende microcystine concentratie voor. Volgens deze indicatiewaarde zou op 59 van de 93 monsters waarin deze parameter is bepaald (63%) aanvullend onderzoek naar cyanotoxines nodig zijn.

In figuur 9 zijn de in 1998 en 1999 gemeten microcystineconcentraties uitgezet tegen de tegelijkertijd gemeten flowcytometrische parameters. Tevens zijn de regressielijnen door de oorsprong weergegeven. Bij alle vier parameters is een verband met de microcystine concentratie waarneembaar.



Figuur 9. Flowcytometrische parameters van de geselecteerde locaties, uitgezet tegen de microcystine concentratie. Open symbolen 1998, gevulde symbolen 1999. De grijze lijn is de door Chorus and Bartram [1999] voorgestelde microcystine richtlijn voor recreatiewater.

Aan de hand van de huidige dataset zijn indicatiewaarden vastgesteld door voor elk van de getoetste parameters de laagste waarde te nemen, waarbij de richtlijn voor recreatiewateren groter of gelijk is aan 20 µg microcystine per liter (tabel 7). De indicatiewaarden geven zo de grens aan waarboven ernstiger gezondheidsklachten bij recreanten kunne optreden.

De hier gepresenteerde indicatiewaarden wijken nogal af van de indicatiewaarden, die uit het onderzoek van 1998 kwamen [AquaSense, 2000b]. Dat betekent, dat de dataset toen nog niet groot genoeg was om betrouwbare ondergrenzen op te leveren. Of dat nu wel het geval is, zal toekomstig onderzoek moeten uitwijzen. De hier gepresenteerde indicatorwaarden mogen dan ook **absoluut niet** opgevat worden als grenswaarden, waaronder geen enkel risico door cyanotoxines te verwachten is.

De voorspellende waarde van de indicatiewaarden wordt het beste bepaald aan de hand van het aantal vals-positieven, ofwel het aantal keren dat een indicator-waarde ten onrechte voorspelt, dat een risicovolle situatie bestaat. In tabel 7 is voor elk van de parameters het percentage vals-positieven gegeven. In al die gevallen zouden maatregelen genomen moeten worden, hetzij in de vorm van recreatiebeperkende maatregelen of in de vorm van aanvullend onderzoek zoals bepaling van de cyanotoxineconcentratie.

Deze hoge score van vals-positieven leidt tot de conclusie, dat geen van de getoetste parameters met voldoende zekerheid risico's van cyanotoxines kan voorspellen, zonder tot overbodig veel aanvullend onderzoek te leiden. De snelste en meest betrouwbare methode blijft de analyse van cyanotoxines.

Tabel 7. Indicatiewaarden voor cyanotoxine-risico's, afgeleid uit de huidige dataset. Voor elke parameter is de laagste waarde vermeld waarbij een microcystineconcentratie boven de door Chorus and Bartram [1999] voorgestelde recreatiewater-richtlijn is gemeten en de locatie, waar die laagste waarde werd waargenomen. Tevens is het percentage monsters aangegeven waarin deze indicatiewaarde werd overschreden.

| parameter | indicatie-waarde | locatie | % over-schrijding |
|----------------------------------|------------------|---------------------|-------------------|
| totaal fosfaat | 0.05 mgP/L | diverse locaties | 100 |
| chl-a fluorescentie fytoplankton | 34 a.u./nL | Zwemplas De Eend | 95 |
| chl-a fluorescentie blauwalgen | 8 a.u./nL | Prinsenbos | 95 |
| temperatuur | 15.4 °C | Oudegaaster Brekken | 92 |
| chlorofyl-a | 22 µg/l | Uddelermeer | 75 |
| doorzicht | 80 cm | Sloterplas | 71 |
| deeltjesaantal blauwalgen | 8.8 /µL | Prinsenbos | 64 |
| seston-AFDW | 6 mg/L | Sloterplas | 63 |
| deeltjesaantal fytoplankton | 41 /µL | Sloterplas | 40 |

6. Voorlopig beslisschema voor handelen bij algenbloei

In de loop van dit onderzoek heeft de begeleidingscommissie van dit onderzoek een voorlopig beslisschema opgesteld, waarin is aangegeven hoe te handelen bij een indicatie van mogelijke risico's door cyanotoxines. Basis voor dit voorlopige beslisschema vormden de richtlijnen van de WHO [Chorus & Bartram, 1999]. Het beslisschema is opgenomen in bijlage 6.

De begeleidingscommissie heeft het door de WHO voorgestelde beslisschema aangepast naar aanleiding van de resultaten van onderhavig onderzoek. Zo blijken fysisch-chemische waterkwaliteitsparameters weinig of geen voorspellende waarde te hebben ten aanzien van de cyanotoxineconcentraties en de daaruit voortvloeiende risico's.

Het WHO-schema gaat uit van een microcystineconcentratie van 3 tot 4 $\mu\text{g/l}$ voor het nemen van maatregelen als het plaatsen van waarschuwborden en het uitvoeren van frequenter onderzoek. Deze richtlijn is afgeleid uit blauwalg-concentraties, die tot gezondheidsklachten leiden [Pilotto *et al*, 1997]. Er bestaat dus geen directe relatie met cyanotoxines. Door Chorus & Bartram [1999] zelf werd al geconstateerd, dat deze richtlijn erg dicht tegen de richtlijn voor drinkwater (1 $\mu\text{g MC/l}$) aanligt en dat sprake is van relatief lichte gezondheidsklachten bij deze blauwalgconcentraties. Deze argumentatie is door de begeleidingscommissie onderschreven en op grond daarvan is de richtlijn van 3 tot 4 $\mu\text{g MC/l}$ niet in het schema opgenomen.

Alleen de richtlijn van 20 $\mu\text{g MC/l}$ opnemen werd echter ook niet wenselijk geacht. Bij deze concentratie is al sprake van ernstiger gezondheidsproblemen. Daarom werd in het voorlopige beslisschema een arbitrair vastgestelde concentratie van 10 $\mu\text{g MC/l}$ gehanteerd als ondergrens voor het nemen van maatregelen. Voor omschrijving van de maatregelen wordt verwezen naar het beslisschema en de bijbehorende toelichting (bijlage 6).

Er wordt gesproken van een voorlopig beslisschema, omdat alleen op basis van epidemiologische gegevens een goed gefundeerd beslisschema opgesteld kan worden. Aanbevolen wordt dan ook een dergelijk onderzoek op korte termijn uit te voeren.

7. Conclusies en aanbevelingen

Blauwalgen

In een groot deel van de 48 onderzochte zwemlocaties zijn potentieel toxische blauwalgen aangetroffen. Waarschijnlijk is de afwezigheid van (potentieel toxische) blauwalgen op een aantal van de locaties in 1998 eerder toe te schrijven aan de toegepaste analysetechniek dan aan het daadwerkelijk ontbreken van deze groepen. In 1999 is een grondiger analysetechniek toegepast en is nog slechts 1 monster zonder potentieel toxische blauwalgen aangetroffen.

Cyanotoxines

In het merendeel van de binnen dit project onderzochte monsters zijn blauwalgtoxines (cyanotoxines) aangetroffen. Anatoxines zijn niet aangetroffen in de monsters van 1998 ondanks de aanwezigheid van populaties gedomineerd door *Anabaena* en/of *Aphanizomenon*, beide mogelijke producenten van anatoxines. In 1999 zijn deze analyses niet meer uitgevoerd, temeer daar de toxiciteit van deze neurotoxines een stuk lager is dan die van de andere geanalyseerde cyanotoxines. Wel zijn microcystines (MC's) gevonden, variërend in concentraties van 0 tot bijna 150 µg MC/l. In 10 meren zijn microcystineconcentraties gevonden, die rond of ruim boven de door Chorus & Bartram [1999] aangegeven richtlijn voor recreatiewateren liggen en waarbij risico's voor ernstiger gezondheidsproblemen ontstaan.

De waarneming van 150 µg MC/l is extreem hoog te noemen, maar laat zien dat microcystineconcentraties in zich ontwikkelende drijfslagen snel kunnen oplopen. Deze verhoogde concentratie is niet het gevolg van een verhoogd cellulair niveau van de toxines, maar simpelweg van de toegenomen blauwalgconcentraties.

Binnen onderhavig onderzoek is bewust niet gemonsterd in drijfslagen, tenzij dat niet anders kon ('t Joppe, 1998, ontwikkelende drijfslag). In zo'n drijfslag kan de blauwalgconcentratie wel 1000 maal hoger worden dan in een gewone populatie [Ibelings & Mur, 1992]. Zo is in een ander onderzoek in een drijfslagmonster een microcystineconcentratie waargenomen van 15000 µg/l [T. Burger, niet gepubliceerd].

Seizoensafhankelijke variatie

Uit het temporele onderzoek van 1999 bleek, dat de microcystineconcentraties maar in een beperkt deel van het jaar hoog waren. Vaste patronen waren niet te herkennen, noch van locatie tot locatie in hetzelfde jaar, noch van jaar tot jaar op dezelfde locatie. Daarbij moet wel in het oog gehouden worden, dat het temporele onderzoek slechts eenmalig werd uitgevoerd op een deel van de locaties en dat het temporele onderzoek in 1998 maar een beperkte omvang had. De steekproef is daarmee beperkt van omvang. Wel is te concluderen, dat in Nederland incidenteel hoge concentraties aan cyanotoxines worden gevonden. Deze concentraties zijn van een dermate hoog niveau dat daar serieus aandacht voor dient te zijn.

Op grond van het in 1999 uitgevoerde onderzoek naar de temporele variatie kan worden gesteld dat routinematige analyse van oppervlaktewateren pas vanaf juni aanbevelenswaardig is. Vóór juni zijn de microcystineconcentraties laag en is de waterrecreatie vaak nog niet op gang gekomen. In incidentele gevallen – bijvoorbeeld voorafgaand aan een watersportevenement – kunnen cyanotoxine-analyses echter ook in het voorjaar nuttig zijn.

Na juni wordt routinematige analyse van cyanotoxines wel aanbevolen. Vooral voor plassen die een geleidelijke opbouw van microcystine vertonen met maximale microcystineconcentraties rond of boven 20 µg/l, is zo'n routinematige aanpak nuttig. Aan de hand van eerdere metingen kan bij toenemende blauwalgaantallen of bij drijfslagvorming het risico beter ingeschat worden en kunnen panieksituaties voorkomen worden. Deze situatie gaat op voor 't Joppe, Sloterplas, De Eend, Zeegerplas en in mindere mate ook Leekstermeer, De Gouden Ham en De Kikker. In de

maanden juli, augustus en eventueel september zou een 14-daagse frequentie voldoende informatie opleveren.

Op grond van de resultaten van 1999 lijken hoogfrequente bemonsteringen van Slotermeer, Sneekermeer en Zuidlaardermeer niet erg nodig. Een jaarlijkse bemonstering in juli en augustus biedt in deze plassen waarschijnlijk voldoende inzicht. Om deze veronderstelling te onderbouwen is echter meerjarig onderzoek nodig.

In plassen met sterk wisselende microcystineconcentraties moet worden overwogen deze met een wekelijkse frequentie te monitoren. Of dat advies ook voor de Haarlemmermeersebos Plas opgaat is twijfelachtig, omdat de microcystineconcentraties daar tijdens dit onderzoek steeds relatief laag waren.

Indicatieve waarde andere parameters

Uit het onderzoek is naar voren gekomen, dat parameters als fosfaatconcentratie, doorzicht, temperatuur, chlorofylconcentratie, fytoplanktensamenstelling en aantallen (potentieel toxische) blauwalgen weinig waarde hebben bij het voorspellen van verhoogde risico's als gevolg van cyanotoxines. De snelste en meest betrouwbare methode voor het inschatten van deze risico's blijft de cyanotoxine-analyse.

In de huidige dataset werd de voorgestelde microcystine-richtlijn voor recreatiewater (20 µg MC/l) overschreden vanaf een chlorofyl-a concentratie van 22 µg/l. De door de WHO gehanteerde richtlijn van 50 µg chl-a/l is dus duidelijk te hoog voor de Nederlandse situatie.

Beslisschema

In de loop van dit onderzoek werd – mede op grond van de resultaten van dit onderzoek – een voorlopig beslisschema opgesteld, waarin aangegeven wordt hoe te handelen bij een indicatie van mogelijke risico's door cyanotoxines. Omdat gebleken is, dat andere parameters weinig of geen voorspellende waarde hebben m.b.t. de risico's door cyanotoxines, wordt aanbevolen direct cyanotoxines te (laten) analyseren en niet allerlei andere parameters. Door het bepalen van andere parameters wordt het onderzoek alleen maar nodeloos duur en duurt het onnodig lang voordat de resultaten van cyanotoxine-analyses beschikbaar zijn.

Er wordt gesproken van een voorlopig beslisschema, omdat alleen op basis van epidemiologische gegevens een goed gefundeerd beslisschema opgesteld kan worden. Aanbevolen wordt dan ook een dergelijk onderzoek op korte termijn uit te voeren.

8. Literatuur

- AquaSense 1996. Ecologische effecten van cyanobacterietoxines. In opdracht van RIZA Lelystad. Rapport 96.0786.
- AquaSense 1997. Toxische cyanobacteriën: Effecten op aquatische ecosystemen en de volksgezondheid. Onderzoeksvoorstel. In opdracht van: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Rapportnr. 96.0990.
- AquaSense 1999. Ecologische effecten van cyanobacterietoxines. Onderzoek 1998. In opdracht van: RIZA-Lelystad & RWS-Directie IJsselmeergebied. Rapportnr. 99.1030-4
- AquaSense 2000a. Ecologische risicoschatting van toxische cyanobacteriën: bioassays met lagere waterdieren als alternatief voor muisassays. In opdracht van: Zorgonderzoek Nederland. Rapportnummer 0906.
- AquaSense 2000b. Geografische verspreiding van toxische cyanobacteriën en cyanotoxines in recreatiewateren in Nederland in 1998. In opdracht van STOWA en IPO. Rapportnr. 1103.
- Burger-Wiersma, T. & Versteegh, J.F.M., 1994. Toxische cyanobacteriën in recreatiewateren. RIVM rapport nr. 609021003.
- Carmichael, W.W., 1992. Cyanobacteria secondary metabolites - the cyanotoxins. *J. Appl. Bacteriol.* 72: 445-459.
- Chorus, I. & Bartram J. (eds.) 1999. Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring and management. E & FN Spon, London.
- Fawell J.K. and James H.A., 1994. Toxins from blue-green algae: toxicological assessment of microcystin-LR and a method for its determination in water. Water Research Centre, Medmenham, UK, 1-46.
- Henriksen, P., 1996. Microcystin profiles and contents in Danish populations of cyanobacteria/blue-green algae as determined by HPLC. *Phycologia* 35 (6 Suppl.): 102-110.
- Henriksen, P.: 1998.
- Ibelings, B.W. & Mur, L.R., 1992. Microprofiles of photosynthesis and oxygen concentration in *Microcystis* scums. *FEMS Microbiol. Ecol.* 86: 195-202.
- Jefferies, T.M., Brammer, G., Zotou, A., Brough, P.A. & Gallagher, T., 1994. Determination of anatoxin-a, homoanatoxin and propylanatoxin in cyanobacterial extracts by HPLC, GC-mass spectrometry and capillary electrophoresis. In: Codd G.A. et al (eds), Detection methods for cyanobacterial toxins, pp. 34-39.
- Lawton, L.A., Edwards, C. & Codd, G.A., 1994. Extraction and high-performance liquid chromatographic method for the determination of microcystins in raw and treated waters. *Analyst* 119: 1525-1530.
- Leenen, I., 1997. Toxische cyanobacteriën: Effecten op de volksgezondheid. Concept onderzoeksvoorstel RIVM.
- Pilotto L.S., Douglas R.M., Burch M.D., Cameron s., Beers M., Rouch G.R., Robinson P., Kirk M., Cowie C.T., Hardiman S., Moore C. & Attewell R.G. 1997. Health effects of recreational exposure to cyanobacteria (blue-green algae) during recreational water-related activities. *Aust. N. Zealand J. Public Health* 21: 562-566.
- Rinehart K.L., Namikoshi M. & Choi B.W. 1994. Structure and biosynthesis of toxins from blue-green algae (cyanobacteria). *J. Appl. Phycol.* 6: 159-176.
- Toorenbeek, R. 1998. Blauwalgen en kwaliteit zwemwater. Concept voorstel voor werkafspraken bij bemonstering en beoordeling. Zuiveringschap Drenthe.
- Watanabe M.F., Tsuji K., Harada K-i. & Suzuki M. (1992) Release of heptapeptide toxin (microcystin) during the decomposition process of *Microcystis aeruginosa*. *Natural Toxins* 1: 48-53.

- WHO 1996. Guidelines for drinking-water quality. Second edition, Volume 2, Health criteria and other supporting information. World Health Organization, Geneva.
- WHO 1998. Guidelines for drinking-water quality. Second edition, Addendum to Volume 2, Health criteria and other supporting information. World Health Organization, Geneva.
- Zotou A., Jefferies T.M., Brough P.A. & Galagher T. 1993. Analyst 118: 753

Bijlagen

Bijlage 1. Geografisch verspreidingsonderzoek. Overzicht geselecteerde (A) en niet-geselecteerde (B) locaties

Recreatiewateren waarin in belangrijke mate cyanobacteriën en/of gezondheidsklachten voorkomen, en de selectie daaruit voor het onderzoek naar geografische verspreiding van cyanotoxines in 1998. Het aantal bezoekers per dag is een schatting op basis van de voorgaande jaren. De gezondheidsklachten zijn ontleend aan gegevens over 1997. Bron: Gegevens van provincies.

| prov. zwemlocatie | gemeente | bezoekers per dag | cyanobacteriën in 1997 | gezondheids-klachten |
|---|-------------------|-------------------|--|-----------------------|
| A. Geselecteerd voor onderzoek geografische verspreiding | | | | |
| FR Hegermeer/ Fluessen | Gaasterlan | >1000 | Aphanizomenon flos-aquae | huid (beroepsvissers) |
| FR It Wiid/Earnewald | Tytsjerksteradiel | 100-1000 | Oscillatoria agardhii | maag/darm (kinderen) |
| FR Oudegaaster Brekken | Oude Gaast | | | |
| FR Potten Snekermeer | Sneek | 100-1000 | Anabaena spiroides | huid/maag/darm |
| FR Slotermeer | Balk | | | |
| FR Uilesprong/Tjeukemeer | Skarsterlan | 100-1000 | Oscillatoria agardhii | maag/darm (kinderen) |
| GR Paterswoldsemeer | Groningen/Haren | >1000 | Aphanizomenon | nee |
| DR Leekstermeer | | | Anabaena | nee |
| DR/GR Zuidlaardermeer | | >1000 | Aphanizomenon | nee |
| OV Strandje Belterwijde | Zwartsluis | >1000 | Aphanizomenon/ O. agardhii en O. redekei | nee |
| GLD Gouden Ham | West Maask Waal | >1000 | Microcystis | nee |
| GLD Uddeiermeer | Apeldoorn | 100-1000 | Microcystis | nee |
| GLD Zandmeren/Oude Maasam | Maasdriel | >1000 | | nee |
| FL Bovenwater | Leijst | 10-100 | Oscillatoria/ Microcystis | nee |
| FL Houtribhoek | Leijst | >1000 | Microcystis/ Aphanizomenon/ Anabaena | nee |
| FL Spijkvijver | Dronten | 10-100 | Anabaena | nee |
| FL Woldstrand | Zeewolde | >1000 | | nee |
| NH Alkmaardermeer | Alkmaar | 100-1000 | | |
| NH Amstelmeer | | | Aphanizomenon | |
| NH Moeie Nel | Spaarndam | 100-1000 | | |
| NH H'temmermeerse Bosplas | Haarlemmermeer | >1000 | Anabaena/ Microcystis | |
| NH Sloterplas | Amsterdam | >1000 | Microcystis | |
| ZH Dobbeplas | Nootdorp | >1000 | Anabaena/ Aphanizomenon | ja |
| ZH Klinkenbergplas | Warmond/Leiden | >1000 | Anabaena | ja |
| ZH Krabbeplas | Vlaardingen | >1000 | Anabaena/ Aphanizomenon/ Oscillatoria | ja |
| ZH Natuurbad te Werve | Rijswijk | 100-1000 | Microcystis | ja |
| ZH Oostduinsemeer | Noordwijkerhout | 100-1000 | Anabaena | nee |
| ZH Oranjepolder | Maassluis | 100-1000 | Microcystis/ Anabaena/ Aphaniz./ Osc. | ja |
| ZH Pnnsenbos | Naaldwijk | 100-1000 | Aphanizomenon/ Oscillatoria | ja |
| ZH Reeuwijkse Hout | Reeuwijk | >1000 | Gloeotrichia/ Microcystis | ja |
| ZH t Joppe | Warmond/Leiden | >1000 | Microcystis | ja |
| ZH Valkenburgse Plas | Valkenburg | >1000 | | ja |
| ZH Vietland | Leidschendam | >1000 | Aphanizomenon | nee |
| ZH Wilhelminapark | Rijswijk | 100-1000 | Anabaena/ Aphanizomenon | ja |
| ZH Zeegerplas | Alphen a/d Rijn | >1000 | Microcystis/ Lyngbya | ja |
| UT Abcoudemeer | Abcoude | 10-100 | geen | dode hond |
| UT De Eend | Kamerik | 10-100 | Aphanizomenon/ Anabaena/ Oscillatoria | |
| UT De Kikker/Fort Ruigenhoek | Groenekan | 10-100 | Aphanizomenon/ Microcystis/ Oscillatoria | |
| UT Henschotermeer | Woudenberg | >1000 | geen | nee |
| UT Recreatistrand Everstein | Hagstein | | Anabaena/Aphanizomenon/Microcystis | |
| NB De IJzeren Man | Eindhoven | 100-1000 | Anabaena | nee |
| NB De Kuilen | Mill | 100-1000 | | nee |
| NB Engelenmeer | Den Bosch | >1000 | | nee |
| NB Zuiderplas | Den Bosch | 100-1000 | Anabaena | nee |
| ZL Speelmansplaten/Zoommeer | Tholen | 100-1000 | | nee |
| ZL Veersemeer | | | | |
| LB dagstrand Seurenheide | Bergen | >1000 | Oscillatoria boretii of rubescense | nee |
| LB Mookerplas/Grote Siep | Mook | | | |
| LB Mookerplas/Riethorst | Mook | >1000 | Microcystis | |

Vervolg Bijlage 1.

B. Niet geselecteerd voor onderzoek geografische verspreiding

| | | | | | |
|----|------------------------------------|------------------------|----------|---|-----|
| GR | Zilvermeer | Groningen | >1000 | | nee |
| FL | Gooimeer zwemstrand Almere | Almere | 10-100 | | nee |
| FL | Weerwater | Almere | >1000 | Microcystis/ Anabaena | nee |
| FL | Westhaven Urk | Urk | >1000 | Microcystis/ Aphanizomenon/ Anabaena | nee |
| NH | Geestmerambacht | Langedijk | >1000 | Microcystis | |
| ZH | Bergse Plassen | Rotterdam | 100-1000 | Lyngbya/ Oscillatoria | nee |
| ZH | Bleiswijker Zoom | Bleiswijk | 100-1000 | | nee |
| ZH | Braassemmeer | Alkemade | | Microcystis | nee |
| ZH | de Viersprong | Dordrecht | 10-100 | | nee |
| ZH | Deiftse Hout | Deift | >1000 | Microcystis/ Anabaena/ Aphanizomenon | nee |
| ZH | Dwarswetenng | Leiderdorp | 10-100 | Lyngbya | nee |
| ZH | Giessen | Giessenburg | 10-100 | Microcystis | ja |
| ZH | Kraaienest | de Lier | 100-1000 | Aphanizomenon | |
| ZH | Kralinger Esch | Rotterdam | 100-1000 | | nee |
| ZH | Kralingse Plas | Rotterdam | 100-1000 | | nee |
| ZH | Langerarseplassen | Langeraar | 10-100 | Lyngbya | ja |
| ZH | Madestein | Den Haag | 100-1000 | Microcystis/ Anabaena/ Aphaniz./ Oscillatoria | nee |
| ZH | Natuurbad de Donk | Hoo Maar | 100-1000 | | nee |
| ZH | Nieuwkoopse Plassen | Nieuwkoop | 100-1000 | Lyngbya | nee |
| ZH | Noord-Aa | Zoetermeer | >1000 | Microcystis | ja |
| ZH | Plas Eifhoeven | Reeuwijk | 100-1000 | Microcystis/ Lyngbya | nee |
| ZH | Plas Wevershoek | Barendrecht | 100-1000 | | nee |
| ZH | Put van Ottoland | Goudnaan | 100-1000 | | ja |
| ZH | Rottemeren | Zevenhuizen/ Bleiswijk | 100-1000 | Oscillatoria/ Anabaena | nee |
| ZH | Speelvijver Vlietland | Leiden/ Zoeterwoude | 100-1000 | Microcystis/ Lyngbya | nee |
| ZH | Vijver Oosterpark | Ridderkerk | 100-1000 | | nee |
| ZH | Vlietlanden | Maasland | 10-100 | Aphanizomenon | nee |
| ZH | Wijde Aa | Woubrugge | 100-1000 | Anabaena/ Aphanizomenon | nee |
| ZH | Zevenhuizer Plas | Zevenhuizen | >1000 | | ja |
| NB | De Kuil | Prinsenbeek | 100-1000 | Anabaena | nee |
| NB | Markenplaat | Zevenbergen | 10-100 | | nee |
| NB | Surae | Oosternhout | >1000 | | nee |
| ZL | Spuikanaal Bath/Scheide-Rijnkanaal | Reimerswaal | 10-100 | | nee |

Bijlage 2. Geografisch verspreidingsonderzoek 1998. Overzicht van fysisch/chemische analyses en flowcytometrische resultaten

Met behulp van flowcytometrie zijn 3 fracties bepaald, namelijk blauwalgen, overig fytoplankton en non-fytoplankton. De laatste categorie bestaat uit deeltjes zonder chlorofyl en omvat dood organisch en anorganisch materiaal en bacteriën en is in het rapport verder buiten beschouwing gebleven.

| prov | bemonsteringsdatum '98 | zwenklocatie | veld- en chemische analyses | | | | | cyanotoxines | | | | flowcytometrie | | | | | |
|------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------------|-----------|---------------------|------------------------|-----------------|---------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|
| | | | temperatuur (°C) | doorzicht (cm) ¹ | chlorofyl-a (µg/l) | facofytine-a (µg/l) | AFDW seston (mg/l) | Prot (mg/l) ² | anatoxine | microcystine (µg/l) | microcystine-LR (% MC) | MC/AFDW (µg/mg) | seston (N/µL) | alle fytoplankton (AU/µL) | blauwalgen | alle fytoplankton (AU/µL) | blauwalgen |
| FR | 27/08 | Heegermeer/Fluessen | 15.2 | >30 | 52 | 9 | 15 | bd | bd | 9.4 | 0 | 0.64 | 205 | 49 | 22 | 695 | 302 |
| FR | 27/08 | It Wiid | 15.7 | 20 | 66 | 8 | 16 | 0.11 | bd | 5.5 | 9 | 0.34 | 277 | 31 | 14 | 594 | 421 |
| FR | 27/08 | Oudegaster Brekken | 15.4 | 20 | 116 | 15 | 26 | bd | bd | 21.4 | 0 | 0.84 | 520 | 166 | 91 | 1356 | 589 |
| FR | 27/08 | Potten/Sneekermeer | 18.1 | >25 | 99 | 9 | 16 | 0.06 | bd | 6.2 | 15 | 0.39 | 116 | 22 | 15 | 806 | 677 |
| FR | 27/08 | Slotermeer | 15.5 | 15 | 27 | 10 | 43 | bd | bd | 7.4 | 12 | 0.17 | 215 | 55 | 28 | 1139 | 808 |
| FR | 27/08 | Tjeukemeer | 14.9 | >25 | 55 | 6 | 19 | bd | bd | 1.6 | 42 | 0.08 | 158 | 24 | 17 | 606 | 479 |
| GR | 27/08 | Paterswoldsemeer | | 70 | 70 | 10 | 10 | bd | bd | 7.8 | 0 | 0.75 | 185 | 23 | 9 | 460 | 221 |
| DR | 27/08 | Leekstermeer | 15.6 | 20 | 42 | 7 | 15 | 0.29 | bd | 7.4 | 0 | 0.49 | 389 | 55 | 16 | 840 | 382 |
| DR | 27/08 | Zuidlaardermeer | | 40 | 49 | 10 | 10 | 0.09 | bd | 1.2 | 0 | 0.12 | 220 | 20 | 7 | 548 | 248 |
| OV | 10/08 | Belterwijde | 24.0 | >40 | 10 | 6 | 6 | bd | bd | 2.4 | 0 | 0.37 | 151 | 16 | 5 | 164 | 28 |
| GL | 3/08 | De Gouden Ham | 20.7 | >40 | 92 | 14 | 11 | bd | bd | 24.6 | 10 | 2.29 | 58 | 80 | 51 | 634 | 306 |
| GL | 19/08 | Uddelermeer | 19.5 | >45 | 22 | 11 | 35 | bd | bd | 22.7 | 0 | 0.66 | 180 | 48 | 20 | 354 | 257 |
| GL | 3/08 | Zandmeren | 21.0 | >30 | 19 | 2 | 2 | 0.06 | bd | 4.6 | 0 | 2.22 | 30 | 12 | 8 | 221 | 25 |
| FL | 31/07 | Bovenwater | 18.6 | 18 | 315 | 34 | 29 | 0.09 | bd | 40.4 | 0 | 1.40 | 275 | 135 | 81 | 1351 | 523 |
| FL | 31/07 | Houtribhoek | 19.2 | 60 | 43 | 11 | 8 | bd | bd | 0.3 | 0 | 0.04 | 204 | 30 | 12 | 236 | 88 |
| FL | 10/08 | Spijkvijver | 26.2 | 40 | 8 | 6 | 7 | bd | bd | 2.7 | 6 | 0.39 | 348 | 26 | 17 | 84 | 23 |
| FL | 10/08 | Wolderwijd | | | 2 | 2 | 3 | bd | bd | 1.4 | 0 | 0.53 | 137 | 11 | 6 | 58 | 37 |
| NH | 22/07 | Alkmaardermeer | | | | | 5 | | bd | 0.7 | 100 | 0.13 | 90 | 16 | 5 | 145 | 33 |
| NH | 28/07 | Amstelmeer | | | 84 | 21 | 20 | 0.07 | bd | 5.3 | 0 | 0.26 | 188 | 121 | 52 | 649 | 436 |
| NH | 22/07 | Mooie Nel | | | | | 17 | | bd | 15.2 | 0 | 0.90 | 136 | 85 | 9 | 964 | 17 |
| NH | 31/07 | Sloterplas | 19.0 | 25 | 303 | 22 | 90 | 0.37 | bd | 19.1 | 0 | 0.21 | 65 | 114 | 102 | 1709 | 1622 |
| ZH | 29/07 | Dobbeplas | 19.2 | >40 | 28 | 4 | 8 | bd | bd | 3.9 | 0 | 0.51 | 125 | 17 | 10 | 319 | 261 |
| ZH | 27/07 | Klinkenbergplas | 20.9 | >20 | 70 | 7 | 10 | bd | bd | 0.2 | 100 | 0.02 | 46 | 20 | 14 | 408 | 370 |
| ZH | 29/07 | Krabbeplas | 18.6 | >25 | 49 | 13 | 17 | 0.15 | bd | 0.9 | 0 | 0.05 | 368 | 138 | 53 | 615 | 204 |
| ZH | 29/07 | Natuurbad te Werve | 19.6 | 100 | 8 | 4 | 2 | 0.36 | bd | 0.0 | 0 | 0.00 | 203 | 12 | 1 | 94 | 3 |
| ZH | 4/08 | Oostduinsemeer | 18.6 | >80 | 5 | 7 | 8 | 1.70 | bd | 6.2 | 4 | 0.74 | 163 | 59 | 46 | 244 | 94 |
| ZH | 29/07 | Oranjepolder | 18.6 | >25 | 85 | 13 | 16 | 0.07 | bd | 9.4 | 7 | 0.59 | 451 | 109 | 53 | 690 | 390 |
| ZH | 29/07 | Prinsenbos | 19.5 | 20 | 164 | 46 | 30 | 0.50 | bd | 40.9 | 0 | 1.36 | 256 | 182 | 9 | 3050 | 8 |
| ZH | 27/07 | Reeuwijkse Hout | 23.0 | >25 | 138 | 15 | 32 | bd | bd | 0.3 | 0 | 0.01 | 64 | 12 | 4 | 90 | 51 |
| ZH | 27/07 | 1 Joppe/Kagerplassen | 20.8 | >20 | 781 | 63 | 166 | 0.11 | bd | 147.3 | 0 | 0.89 | 238 | 496 | 427 | 6454 | 5733 |
| ZH | 3/08 | Valkenburgse Plas | 18.5 | >50 | 83 | 8 | 12 | 0.15 | bd | 33.5 | 0 | 2.70 | 104 | 128 | 114 | 555 | 401 |
| ZH | 29/07 | Vlietland | 19.2 | >30 | 48 | 4 | 6 | bd | bd | 9.6 | 0 | 1.54 | 58 | 117 | 100 | 545 | 310 |
| ZH | 29/07 | Wilhelminapark | 19.3 | 15 | | | 17 | 0.31 | bd | 0.4 | 0 | 0.02 | 2446 | 74 | 25 | 1567 | 835 |
| ZH | 27/07 | Zeegerplas | 22.3 | >20 | 24 | 5 | 11 | bd | bd | 25.8 | 2 | 2.42 | 185 | 115 | 96 | 298 | 224 |
| UT | 24/07 | Abcoudermeer | | 80 | | | 9 | | bd | 2.3 | 15 | 0.27 | 120 | 8 | 4 | 766 | 50 |
| UT | 28/07 | De Eend | 21.8 | 45 | 437 | 113 | 56 | 0.06 | bd | 0.0 | 0 | 0.00 | 79 | 63 | 10 | 4875 | 188 |
| UT | 28/07 | De Kikker | 21.3 | 60 | 19 | 5 | 8 | bd | bd | 7.7 | 5 | 0.96 | 40 | 9 | 2 | 304 | 131 |
| UT | 27/07 | Everstein | 24.7 | >25 | 30 | 5 | 8 | bd | bd | 6.5 | 3 | 0.84 | 86 | 73 | 50 | 173 | 110 |
| UT | 22/07 | Henschotermeer | | | | | 11 | | bd | 2.3 | 0 | 0.21 | 42 | 14 | 1 | 315 | 1 |
| NB | 26/07 | De IJzeren Man | 21.6 | 25 | 64 | 8 | 7 | bd | bd | 1.4 | 0 | 0.21 | 237 | 17 | 6 | 372 | 324 |
| NB | 3/08 | De Kuilen | 21.5 | >25 | 9 | 1 | 2 | bd | bd | 0.4 | 0 | 0.22 | 38 | 13 | 3 | 96 | 5 |
| NB | 26/07 | Engelenmeer | 22.4 | >15 | 5 | 1 | 2 | bd | bd | 0.2 | 0 | 0.08 | 58 | 5 | 1 | 21 | 2 |
| NB | 26/07 | Zuiderplas | 23.0 | >15 | 15 | 4 | 3 | bd | bd | 1.2 | 0 | 0.36 | 56 | 15 | 2 | 70 | 9 |
| ZL | 6/09 | Speelmansplaten/Zoommeer | 19.6 | 30 | 51 | 8 | 20 | | bd | 19.0 | 0 | 0.95 | 188 | 8 | 6 | 245 | 193 |
| ZL | 6/09 | Veersemeer | 19.2 | 120 | 9 | 5 | 4 | | bd | 2.4 | 0 | 0.61 | 21 | 6 | 2 | 14 | 0 |
| LB | 3/08 | Dagstrand Seurenheide | 22.3 | >35 | 7 | 1 | 1 | bd | bd | 0.5 | 0 | 0.40 | 54 | 4 | 1 | 30 | 8 |
| LB | 3/08 | Grote Siep/Mokerplas | 21.4 | >25 | 10 | 4 | 2 | bd | bd | 2.1 | 0 | 0.94 | 148 | 15 | 4 | 116 | 31 |
| LB | 3/08 | Riethorst/Mokerplas | 21.4 | >50 | 33 | 8 | 4 | 0.06 | bd | 2.7 | 0 | 0.70 | 101 | 17 | 7 | 270 | 35 |

1 Doorzicht > X cm = bodemdicht

2 bd = beneden detectiegrens totaal fosfaat = < 0.05 mg/l

Bijlage 3. Geografisch verspreidingsonderzoek 1998. Soortensamenstelling potentieel toxische blauwalgen

De soortensamenstelling is bepaald door middel van microscopische waarnemingen en weergegeven als percentage van het totaal aantal fytoplanktondeeltjes. De overige fytoplanktongroepen zijn gesommeerd weergegeven.

| prov | bemonsteringsdatum '98 | zwevelokatie | potentieel toxische blauwalgen | | | | | | | | | | | | | overige algen | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|--------------------|-------------|--------------|-----------------|----|----|----|
| | | | Anabaena spec | Anabaena circinalis | Anabaena compacta | Anabaena lemmermannii minor | Anabaena scheremetievi f. ovalispora | Anabaena solitaria | Anabaena spiroides | Aphanizomenon flexuosum | Aphanizomenon flos-aquae | Aphanizomenon f.a. var. klebahnii | Aphanizomenon gracile | Aphanizomenon issatchenkoi | Gloeotrichia echinulata | Microcystis spec | Microcystis aeruginosa | Microcystis flos-aquae | Microcystis marginata | Microcystis robusta | Microcystis stagnalis | Oscillatoria agardhii | som potentieel toxische blauwalgen | overige blauwalgen | groenwieren | kieselwieren | overige soorten | | | |
| FR | 27/08 | Heegermeer/Fluessen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | 12 | 16 | 32 | 48 | 4 | 0 | | |
| FR | 27/08 | It Wuid | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 79 | 79 | 1 | 20 | 0 | 0 | |
| FR | 27/08 | Oudegaaster Brekken | | | | | | | | | | 3 | | | | | | | | | | | | 12 | 15 | 52 | 23 | 10 | 0 | |
| FR | 27/08 | Potten/Sneekermeer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 65 | 15 | 5 | 10 | 5 | | |
| FR | 27/08 | Slotermeer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 90 | 9 | 1 | 0 | 0 | | |
| FR | 27/08 | Ijeukemeer | | | | | | | | | | 70 | | 20 | | | | | | | | | | 90 | 90 | 6 | 2 | 2 | 0 | |
| GR | 27/08 | Paterswoldsemeer | | | | | | | | | | | | | 1 | 14 | | | | | | | | 1 | 16 | 4 | 47 | 18 | 15 | |
| DR | 27/08 | Leekstermeer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 41 | 42 | 0 | 27 | 9 | 22 | |
| DR | 27/08 | Zuidlaardermeer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 58 | 2 | 5 | 35 | 0 | |
| OV | 10/08 | Beiterwilde | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 23 | 18 | 36 | 20 | 3 | |
| GL | 3/08 | De Gouden Ham | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 17 | 35 | 21 | 12 | 15 | |
| GL | 19/08 | Uddelermeer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 20 | 76 | 4 | 0 | 0 | |
| GL | 3/08 | Zandmeren | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 12 | 12 | 1 | 50 | 25 | |
| FL | 31/07 | Bovenwater | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 11 | 45 | 4 | 40 | 0 | |
| FL | 31/07 | Houtribhoek | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | 90 | 5 | 5 | |
| FL | 10/08 | Spijkvijver | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 11 | 38 | 0 | 5 | 26 | |
| FL | 10/08 | Wolderwijd | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 6 | 21 | 48 | 23 | |
| NH | 22/07 | Alkmaardermeer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 6 | 8 | 50 | 21 | 21 | 0 |
| NH | 28/07 | Amstelmeer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 46 | 46 | 13 | 41 | 0 | 0 |
| NH | 22/07 | Mooie Nei | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10 | 0 | 85 | 5 | 0 | |
| NH | 31/07 | Sloterplas | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| ZH | 29/07 | Dobbeplas | 29 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 63 | 0 | 17 | 0 | 20 | |
| ZH | 27/07 | Klinkenbergseplas | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 94 | 0 | 3 | 0 | 3 | |
| ZH | 29/07 | Krabbeplas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 17 | 17 | 4 | 60 | 7 | 12 |
| ZH | 29/07 | Natuurbad te Werve | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | 18 | 18 | 64 | |
| ZH | 4/08 | Oostduinsemeer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10 | 24 | 14 | 38 | 14 | |
| ZH | 29/07 | Oranjepolder | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 35 | 36 | 29 | 0 | 15 | 20 |
| ZH | 29/07 | Prinsenbos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 1 | 47 | 1 | 51 | |
| ZH | 27/07 | Reeuwijkse Hout | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 98 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| ZH | 27/07 | 't Joppe/Kagerplassen | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 90 | 0 | 0 | 0 | 10 | |
| ZH | 3/08 | Valkenburgse Plas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 36 | 40 | 1 | 19 | 4 | |
| ZH | 29/07 | Vlietland | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 36 | 7 | 5 | 24 | 28 | |
| ZH | 29/07 | Wilhelminapark | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 73 | 1 | 11 | 6 | 9 | |
| ZH | 27/07 | Zeegerplas | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 42 | 0 | 20 | 16 | 22 | |
| UT | 24/07 | Abcoudermeer | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3 | 1 | 3 | 0 | 93 | |
| UT | 28/07 | De Eend | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0 | 0 | 0 | 99 | |
| UT | 28/07 | De Kikker | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 62 | 20 | 1 | 16 | |
| UT | 27/07 | Everstein | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 49 | 0 | 1 | 0 | 50 | |
| UT | 22/07 | Henschotermeer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | nb | nb | nb | nb | nb | |
| NB | 26/07 | De IJzeren Man | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 45 | 15 | 25 | 15 | |
| NB | 3/08 | De Kuilen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 1 | 1 | 43 | 55 | |
| NB | 26/07 | Engelenmeer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | 0 | 2 | 98 | |
| NB | 26/07 | Zuiderplas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 4 | 0 | 55 | 41 | |
| ZL | 6/09 | Speelmansplaten/Zoommeer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 55 | 15 | 12 | 15 | 3 | |
| ZL | 6/09 | Veersemeer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 | 51 | 9 | 40 | |
| LB | 3/08 | Dagstrand Seurenheide | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | 5 | 30 | 40 | 21 | |
| LB | 3/08 | Grote Siep/Mokerplas | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | 24 | 44 | 20 | 8 | |
| LB | 3/08 | Riethorst/Mokerplas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 0 | 97 | |

Bijlage 4. Temporele variatie van de microcystineconcentratie in 1998.

De concentraties aan microcystine-LR zijn weergegeven als percentage van totaal MC.

| prov | datum | locatie | Σ MC ($\mu\text{g/l}$) | % MC-LR | temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) | doorzicht (cm) |
|------|-------|--------------------------|---------------------------------|---------|------------------------------------|----------------|
| FR | 03/08 | Heegermeer/Fluessen | 7.7 | 0 | 20.5 | 40 |
| | 17/08 | | 8.4 | 0 | 21.0 | 50 |
| | 27/08 | | 9.4 | 0 | 15.2 | 30 |
| | 14/09 | | 5.3 | 0 | 14.0 | 40 |
| FR | 03/08 | Oudegaaster Brekken | 23.3 | 0 | 19.5 | 30 |
| | 17/08 | | 21.5 | 0 | 20.0 | 20 |
| | 27/08 | | 21.4 | 0 | 15.4 | 20 |
| | 14/09 | | 16.9 | 0 | 14.0 | 30 |
| FR | 03/08 | Slotermeer | 2.8 | 37 | 21.0 | 30 |
| | 17/08 | | 2.1 | 54 | 22.5 | 30 |
| | 27/08 | | 7.4 | 12 | 15.5 | 15 |
| | 14/09 | | 5.6 | 19 | 14.0 | 30 |
| DR | 05/08 | Leekstermeer | 6.9 | 0 | | |
| | 17/08 | | 7.9 | 7 | | |
| | 27/08 | | 7.4 | 0 | 15.6 | 20 |
| | 02/09 | | 3.2 | 0 | | |
| | 16/09 | | 0.4 | 0 | | |
| DR | 05/08 | Zuidlaardermeer | 3.9 | 0 | | |
| | 17/08 | | 2.6 | 24 | | |
| | 27/08 | | 1.2 | 0 | | 40 |
| | 02/09 | | 4.4 | 20 | | |
| | 16/09 | | 2.4 | 31 | | |
| NH | 10/08 | Haarlemmermeerse Bosplas | 2.3 | 12 | 21.5 | 60 |
| | 26/08 | | 2.1 | 26 | 19.6 | 100 |
| | 09/09 | | 3.3 | 18 | 17.0 | 100 |
| | 21/09 | | 2.3 | 10 | 17.4 | 50 |
| ZH | 27/07 | Zeegerplas | 25.8 | 2 | 22.3 | >20 |
| | 06/08 | | 16.8 | 2 | | |
| | 20/08 | | 9.9 | 3 | | |
| | 03/09 | | 1.3 | 10 | | |
| | 17/09 | | 1.9 | 7 | | |

Bijlage 5b. Overzicht analysesresultaten in 5 van de 11 geselecteerde recreatiewateren.

| | flowcytometrie | | pot. tox. blauwalgen | | | | | overige algen | | | cyanotoxines | | | fysisch/chemisch | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------|----------------------|-------------------|---------------------------|----------|---------------|-----------------------|-------------------------|--------------------|--------------|-----------|-------------------------|---------------------|------------------------|-----------------|----|------------------|----------------|-------------|--------------------|------------------|---------------------|--------------------|--|--|--|
| | (N/L) | | (AU/ml) | | % van totaal fytoplankton | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Seston | Totaal fytoplankton | Totaal blauwalgen | Totaal fytoplankton | Totaal blauwalgen | Microcystis | Anabaena | Aphanizomenon | Flanktothrix agardhii | son pot. tox blauwalgen | Overige blauwalgen | Groenwieren | Diatomeen | Overige niet-blauwalgen | Microcystine (µg/l) | Microcystine-LR (µg/l) | MC/AFDW (µg/mg) | pH | temperatuur (°C) | doorzicht (cm) | Plot (mg/l) | AFDW seston (mg/l) | DW seston (mg/l) | chlorofyll-a (µg/l) | Faecofytine (µg/l) | | | |
| Leekstermeer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 06-Jul | 26.2 | 2.6 | 2.2 | 111 | 104 | 1 | 0 | 3 | 32 | 36 | 28 | 25 | 1 | 9 | | | | 21.0 | 30 | 0.45 | | 32.0 | 80 | 19 | | | |
| 19-Jul | 26.5 | 4.0 | 3.2 | 204 | 180 | 3 | 0 | 3 | 70 | 76 | 7 | 12 | 2 | 3 | | | | 22.5 | 20 | 0.70 | | 75.0 | 100 | 31 | | | |
| 03-Aug | 27.1 | 17.9 | 17.7 | 659 | 647 | 1 | 0 | 3 | 54 | 58 | 12 | 23 | 1 | 5 | 4.9 | bd | | 22.5 | 35 | 0.44 | | 20.0 | 75 | 16 | | | |
| 17-Aug | 30.5 | 20.2 | 19.9 | 655 | 632 | 0 | 0 | 1 | 53 | 54 | 2 | 28 | 4 | 12 | 1.0 | bd | | 17.7 | 35 | 0.34 | | 27.0 | 89 | 18 | | | |
| 31-Aug | 33.2 | 21.5 | 21.1 | 655 | 637 | 0 | 0 | 8 | 57 | 65 | 3 | 19 | 4 | 8 | 1.7 | bd | | 19.0 | 20 | 0.39 | | 42.0 | 85 | 23 | | | |
| 21-Sep | 26.3 | 19.5 | 19.2 | 829 | 808 | 0 | 0 | 9 | 54 | 64 | 13 | 12 | 5 | 6 | bd | bd | | 18.0 | 25 | 0.37 | | 29.0 | 100 | 15 | | | |
| Slotermeer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 07-Jun | 217.2 | 33.8 | 29.0 | | | 0 | 0 | 0 | 64 | 64 | 8 | 26 | 1 | 1 | 3.7 | 1.62 | | 8.1 | 16.0 | 30 | | 46.0 | 84 | 22 | | | |
| 21-Jun | 307.2 | 61.3 | 53.7 | | | 0 | 0 | 1 | 62 | 63 | 5 | 19 | 6 | 7 | 4.0 | 0.98 | | 8.5 | 19.5 | 20 | | 120.0 | 104 | 27 | | | |
| 05-Jul | 463.0 | 70.9 | 63.2 | | | 0 | 0 | 1 | 64 | 65 | 2 | 14 | 5 | 14 | 1.9 | 0.89 | | 8.2 | 19.5 | 20 | | 100.0 | 131 | <8 | | | |
| 19-Jul | 230.0 | 39.0 | 34.6 | | | 1 | 0 | 5 | 55 | 62 | 15 | 15 | 4 | 4 | 1.8 | 1.11 | | 8.7 | 24.5 | 20 | | 100.0 | 86 | 20 | | | |
| 02-Aug | 279.0 | 201.5 | 194.3 | | | 18 | 0 | 6 | 24 | 47 | 27 | 19 | 4 | 3 | 1.1 | 0.48 | | 8.6 | 24.0 | 20 | | 86.0 | 78 | 24 | | | |
| 16-Aug | 154.2 | 110.6 | 105.8 | | | 21 | 0 | 12 | 29 | 61 | 19 | 15 | 2 | 3 | 1.5 | 0.90 | | 8.9 | 19.5 | 30 | | 46.0 | 129 | <8 | | | |
| 30-Aug | 119.4 | 76.5 | 74.2 | | | 5 | 0 | 20 | 47 | 73 | 18 | 6 | 0 | 2 | 1.4 | 0.96 | | 8.9 | 21.0 | 40 | | 29.0 | 90 | 19 | | | |
| 13-Sep | 165.9 | 119.9 | 116.7 | | | 31 | 0 | 10 | 29 | 70 | 16 | 8 | 1 | 4 | 1.6 | 1.02 | | 8.9 | 22.5 | 25 | | 35.0 | 96 | 17 | | | |
| Sneekermeer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 07-Jun | 258.6 | 14.0 | 9.5 | | | 2 | 0 | 0 | 6 | 7 | 5 | 45 | 10 | 33 | 1.8 | 0.00 | | 7.9 | 17.0 | >40 | | 16.0 | 42 | <8 | | | |
| 21-Jun | 129.0 | 12.7 | 9.2 | | | 8 | 0 | 1 | 18 | 27 | 13 | 15 | 0 | 45 | 1.8 | 0.44 | | 8.5 | 19.0 | >40 | | 17.0 | 51 | 12 | | | |
| 05-Jul | 93.0 | 9.9 | 8.7 | | | 8 | 0 | 6 | 54 | 68 | 12 | 9 | 0 | 11 | 0.7 | 0.23 | | 8.4 | 20.5 | 50 | | 27.0 | 27 | <8 | | | |
| 19-Jul | 110.4 | 10.9 | 10.2 | | | 0 | 0 | 10 | 68 | 79 | 7 | 7 | 1 | 6 | 1.1 | 0.33 | | 8.6 | 23.0 | >40 | | 13.0 | 43 | <8 | | | |
| 02-Aug | 89.8 | 63.2 | 62.3 | | | 6 | 0 | 25 | 40 | 71 | 15 | 10 | 0 | 4 | 1.2 | 0.68 | | 8.7 | 22.5 | >40 | | 16.0 | 58 | <8 | | | |
| 16-Aug | 98.7 | 67.9 | 65.8 | | | 20 | 0 | 2 | 39 | 61 | 21 | 10 | 2 | 5 | 1.3 | 0.74 | | 8.6 | 19.5 | >40 | | 12.0 | 86 | <8 | | | |
| 30-Aug | 90.0 | 62.9 | 60.6 | | | 8 | 1 | 9 | 35 | 52 | 20 | 11 | 1 | 16 | 1.2 | 0.71 | | 8.9 | 20.0 | 30 | | 12.0 | 15 | 36 | | | |
| 13-Sep | 121.8 | 80.2 | 77.6 | | | 12 | 9 | 10 | 32 | 64 | 22 | 3 | 0 | 11 | 2.0 | 0.86 | | 9.1 | 20.5 | 30 | | 28.0 | 118 | 15 | | | |
| Zeegerplas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 07-May | 0.1 | 0.0 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 5 | 67 | 0.4 | 0.03 | | | | | | | | | | | |
| 17-May | 1.7 | 0.0 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 59 | 0 | 41 | 0.1 | 0.02 | | | | | | | | | | | |
| 01-Jun | 4.0 | 0.0 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 46 | 51 | 0.4 | 0.07 | | | | | | | | | | | |
| 16-Jun | 12.6 | 0.0 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 74 | 26 | 0 | 1.3 | 0.19 | | | | | | | | | | | |
| 30-Jun | 1.6 | 0.3 | | | | 0 | 2 | 0 | 0 | 11 | 11 | 34 | 9 | 44 | 2.3 | 0.95 | | | | | | | | | | | |
| 14-Jul | 14.2 | 0.2 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 9 | 32 | 58 | 3.2 | 0.22 | | | | | | | | | | | |
| 28-Jul | 8.1 | 0.4 | | | | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 3 | 17 | 85 | 13 | 7.2 | bd | | | | | | | | | | | |
| 11-Aug | 25.7 | 22.6 | | | | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 86 | 4 | 3 | 4 | 13.3 | bd | | | | | | | | | | | |
| 25-Aug | 11.9 | 8.9 | | | | 1 | 0 | 1 | 1 | 3 | 72 | 4 | 14 | 8 | 13.7 | bd | | | | | | | | | | | |
| 09-Sep | 18.6 | 15.8 | | | | 0 | 0 | 5 | 8 | 12 | 73 | 4 | 1 | 10 | 12.0 | bd | | | | | | | | | | | |
| 22-Sep | 1.7 | 0.7 | | | | 2 | 0 | 0 | 22 | 24 | 17 | 11 | 19 | 29 | 3.2 | 1.18 | | | | | | | | | | | |
| H¹ meersebos Plas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 07-May | 20.0 | 0.0 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32 | 1 | 67 | 1.9 | <.01 | | | | | | | | | | | |
| 17-May | 16.9 | 0.3 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 98 | 0 | 0 | 0.2 | <.01 | | | | | | | | | | | |
| 01-Jun | 3.4 | 0.0 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 94 | 2 | 4 | <.01 | <.01 | | | | | | | | | | | |
| 16-Jun | 11.3 | 0.1 | | | | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 62 | 0 | 37 | 0.2 | 0.20 | | | | | | | | | | | |
| 30-Jun | 6.0 | 4.6 | | | | 0 | 33 | 0 | 0 | 33 | 44 | 16 | 2 | 5 | 0.1 | 0.14 | | | | | | | | | | | |
| 14-Jul | 14.1 | 14.1 | | | | 0 | 9 | 1 | 1 | 10 | 90 | 0 | 0 | 0 | <.01 | <.01 | | | | | | | | | | | |
| 28-Jul | 50.9 | 50.5 | | | | 1 | 2 | 0 | 7 | 9 | 90 | 1 | 0 | 0 | <.01 | <.01 | | | | | | | | | | | |
| 11-Aug | 1.0 | 0.2 | | | | 0 | 1 | 0 | 3 | 4 | 11 | 1 | 0 | 84 | 2.0 | <.01 | | | | | | | | | | | |
| 25-Aug | 1.6 | 1.5 | | | | 0 | 0 | 28 | 53 | 60 | 17 | 0 | 0 | 3 | 2.6 | 0.22 | | | | | | | | | | | |
| 09-Sep | 12.3 | 11.6 | | | | 0 | 3 | 40 | 10 | 53 | 41 | 6 | 0 | 0 | <.01 | <.01 | | | | | | | | | | | |
| 22-Sep | 8.7 | 8.6 | | | | 0 | 0 | 57 | 10 | 68 | 31 | 2 | 0 | 0 | 0.7 | 0.67 | | | | | | | | | | | |

Bijlage 6. Beslisschema

Een handleiding hoe te handelen bij mogelijke risico's door cyanotoxines.

Veilig zwemmen: Blauwalgen in zwemwater

Inleiding

In Nederland zijn de afgelopen jaren in toenemende mate gezondheidsklachten opgetreden na het zwemmen in oppervlaktewater van bacteriologisch goede kwaliteit. Sommige blauwalgen (blauwwieren, cyanobacteriën) en hun toxines zouden een deel van deze klachten kunnen veroorzaken. Hierdoor is er behoefte ontstaan, bij o.a. waterbeheerders en overkoepelende instanties, aan uniforme richtlijnen om met de problematiek rondom deze blauwalgen om te gaan.

Deze notitie (+ bijbehorende beslisboom) is een vervolg op het voorstel voor werkafspraken van R. Torenbeek (toenmalig Zuiveringschap Drenthe) uit 1998 en heeft als **doel** om in Nederland op uniforme wijze om te gaan met mogelijke problemen met blauwalgen en hun toxines.

Deze notitie is opgesteld door de Cyanotox-werkgroep, waarin o.a. afgevaardigden van Aquasense, IPO, NIOO, RIVM, RIZA, STOWA, UvA en enkele waterschappen deelnemen.

Een beslisboom is weergegeven in de figuur. In onderstaande tekst wordt achtergrondinformatie gegeven en worden enkele stappen uit het werkschema nader toegelicht.

Wat zijn blauwalgen, welke toxines en welke gezondheidsklachten kunnen optreden?

Blauwalgen groeien optimaal bij een temperatuur tussen de 20 en 30 °C. Zij komen dan ook juist tot bloei in de warme zomers, wanneer er ook een verhoogde recreatiedruk is. Bloei van blauwalgen kan echter het hele jaar optreden. Hierdoor is het moeilijk aan te geven in welke periode men zou moeten meten.

Sommige blauwalgen zijn in staat om cyanotoxines te produceren, welke verscheidene gezondheidsklachten kunnen veroorzaken. Alle blauwalgen, die toxines kunnen produceren zijn tevens drijfslagvormers. Daardoor kunnen de celgebonden cyanotoxines in hoge mate geconcentreerd worden in drijfslagen.

De cyanotoxines kunnen als volgt worden ingedeeld:

- **Hepatotoxines:** remmen eiwitfosfatase. Lage dosering kan leiden tot jeuk en/of huiduitslag en/of maagdarmklachten (misselijk, buikpijn, diarree), griepachtige verschijnselen, hoofdpijn, geïrriteerde ogen, oorpijn en blaren rond de mond. Hogere doseringen en/of chronische blootstelling kunnen leiden tot het ontwikkelen van tumoren en/of beschadiging van de lever, met mogelijk de dood tot gevolg. Belangrijkste toxines in deze groep zijn de microcystines, welke lang intact kunnen blijven in oppervlaktewater.
- **Neurotoxines:** grijpen aan op de overdracht van zenuwpulsen op de spiervezels. Symptomen zijn: afnemende activiteit, duizeligheid, ademhalingsproblemen en krampen. Bij hoge doseringen kan het leiden tot verlamingsverschijnselen en vervolgens zuurstofgebrek, met als mogelijk gevolg de dood. Belangrijkste toxine in deze groep is anatoxine.

De belangrijkste potentieel toxische blauwalgen die in Nederland voorkomen zijn:

- *Anabaena flos-aquae*, *A. spiroides*, *A. circinales*, *A. lemmermanni*
- *Microcystis* spp, inclusief *M. aeruginosa*, *M. flos-aquae*, *M. wesenbergii*
- *Nostoc* sp.
- *Aphanizomenon flos-aquae*
- *Planktothrix agardhii* (voorheen *Oscillatoria agardhii*)
- *Gloeotrichia echinulata*

(vervolg bijlage 6)

Uit onderzoek van Aquasense, uitgevoerd in opdracht van de STOWA en het IPO blijkt dat in Nederland voornamelijk microcystines (MC's) worden gevonden [Aquasense, 2000]. Alle bovengenoemde soorten zijn in staat tot de productie van microcystines. Bijgevoegde beslisboom is gebaseerd op microcystines geanalyseerd m.b.v. HPLC [WHO, 1999; Aquasense, 2000]. Er zijn verschillende manieren om microcystines te bepalen (zie bijlage).

UITLEG BIJ DE BESLISBOOM

1. Drijfslag

Een drijfslag ontstaat door een concentratie van blauwalgen.

Drijfslagen worden uitsluitend gevormd door potentieel toxische blauwalgen. In een drijfslag is een verhoogde concentratie cellen aanwezig en dus mogelijk ook een hoge concentratie toxines, omdat de toxines voornamelijk in de cellen zitten. Indien zo'n drijfslag aanwezig is, is er dus een mogelijk gezondheidsrisico voor de recreanten.

Bij aanwezigheid van een drijfslag is het zaak om de zwemplaats te bemonsteren op blauwalgen en een waarschuwing uit te laten gaan (door de Provincie).

Deze waarschuwing wordt pas ingetrokken als de drijfslag verdwenen is en er < 10 µg MC/l wordt gevonden op de zwemplaats.

2. Reputatie plas

Er zijn diverse redenen om microcystine-bepalingen in het reguliere meetprogramma op te nemen. Het wordt aanbevolen deze bepalingen op te nemen, indien:

- Er in het verleden problemen met blauwalgen in de plas zijn geweest.
- Er in het verleden gezondheidsklachten als gevolg van blauwalgen zijn opgetreden.

Als hierover twijfel bestaat wordt aangeraden een aantal malen microcystines te meten in de zwemplaats.

3. Verdacht

Er zijn verschillende redenen, waarom een zwemplaats verdacht kan zijn, en wel:

- Er zijn **gezondheidsklachten** opgetreden bij recreanten van de zwemplaats, waarbij een mogelijke relatie bestaat met blauwalgen (dit hoeft geen drijfslag te zijn). Deze kunnen gemeld zijn via GGD-en en/of Provincies. Natuurlijk moet er dan meteen een meetprogramma worden opgesteld.
- Er zijn **visuele aanwijzingen**. Visuele inspectie van de zwemplaats tijdens de reguliere bemonstering voor de WHVZ/WVO is nuttig om te bekijken of er een mogelijk blauwalgenprobleem is. De aanwezigheid van een drijfslag (zie boven), 'groene soep' (of een sterk groene kleuring) of 'blauw schuim' kan een indicatie voor de aanwezigheid van potentieel toxische blauwalgen zijn. Indien met het blote oog waarneembare algenkolonies/algenbolletjes te zien zijn is dit een hele duidelijke aanwijzing: Vaak zijn dit potentieel toxische cyanobacteriën. Op verzoek wordt een cursus georganiseerd, waarin monsternemers worden opgeleid in het herkennen van blauwalgen in het veld.

(vervolg bijlage 6)

Andere mogelijke aanwijzingen zijn:

- Indien men ervaring heeft met het determineren van blauwalgen kan een **microscopische** screening uitgevoerd worden. Als er bij microscopisch onderzoek geen potentieel toxische blauwalgen gevonden worden is het niet nodig om microcystines te meten. Indien potentieel toxische blauwalgen in aantallen > 50.000 cellen/ml ($\approx > 10 \mu\text{g MC/l}$; WHO, 1999) voorkomen, wordt aanbevolen microcystines te meten. Het gaat daarbij nadrukkelijk om **cellen/ml** en **niet** om kolonies, filamenten, individuen of exemplaren/ml.
- Stank en de aanwezigheid van dode vissen en/of vogels.
- Indien men routinematig al chlorofylbepalingen uitvoert en de waarden hiervan boven de $25 \mu\text{g/l}$ ($\approx > 10 \mu\text{g MC/l}$; WHO, 1999) uitkomen wordt ook aanbevolen om microcystines te meten, tenzij bekend is dat het groenalgen zijn.

4. Microcystinegehalte

De cyanotoxines zijn de oorzaak van het optreden van gezondheidsklachten. Daarom wordt in dit werkschema voorgesteld om deze specifiek te bepalen, omdat dan alleen duidelijk wordt of er inderdaad een gezondheidsrisico door cyanotoxines op de zwemplaats is. Er zijn verschillende methoden beschikbaar: (bijlage)

- Analyse van microcystines m.b.v. HPLC. Een gevoelige methode, waarbij alle microcystines geanalyseerd worden. Toepassing van deze methode wordt door de Cyanotox-werkgroep aanbevolen.
- Analyse van microcystines m.b.v. een ELISA-immunokit. Met deze relatief snelle methode worden niet alle microcystines bepaald. Het geeft dus slechts een indicatie. Op dit moment wordt toepassing van deze methode door de Cyanotox-werkgroep afgeraden wegens onvoldoende toetsing van de methodiek.

5. Waarschuwing of zwemverbod

Op basis van de microcystinebepaling en eventueel gezondheidsklachtenonderzoek besluit de Provincie in overleg met de waterkwaliteitsbeheerder tot een waarschuwing of een zwemverbod. De doelgroep omvat zowel zwemmers als surfers en waterskiërs. Minder ervaren surfers kunnen relatief veel water binnen krijgen en waterskiërs kunnen mogelijk via aerosolen blootgesteld worden aan potentieel toxische blauwalgen [WHO, 1999].

Suggesties voor waarschuwingsteksten:

- Aanraden zich niet in de drijfslaag te begeven en zich na het zwemmen goed af te spoelen.
- Aanraden zich niet in het water te begeven in verband met verhoogde gezondheidsrisico's als gevolg van blauwalgen.
- Aanraden om niet te surfen en/of waterskiën in verband met verhoogde gezondheidsrisico's als gevolg van blauwalgen.

De microcystinegehalten in het werkschema zijn gebaseerd op de aanbevelingen van de WHO uit 1999. De WHO heeft de toenmalige kennis op dit gebied geïnventariseerd en aan de hand daarvan aanbevelingen gedaan. De aanbevelingen zijn gebaseerd op metingen m.b.v. HPLC. De waarde van $20 \mu\text{g MC/l}$ is rechtstreeks overgenomen van de WHO. De additionele richtwaarde van de WHO van $3 \mu\text{g MC/l}$, waarbij een klein verhoogd risico op gezondheidsklachten bestaat, is niet overgenomen. Deze richtlijn ligt dicht bij de voorlopige richtlijn voor drinkwater en wordt ook door de auteurs van WHO [1999] gekenschetst als "erg voorzichtig". De Cyanotox-werkgroep is van mening, dat een additionele richtlijn van $10 \mu\text{g MC/l}$ realistischer is.

(vervolg bijlage 6)

Aanbevolen wordt nu (op basis van metingen van microcystines):

- < 10 µg MC/l: geen actie
- 10–20 µg MC/l: waarschuwing uit laten gaan
- > 20 µg MC/l: waarschuwing laten uitgaan en de volgende dag opnieuw meten. Indien weer zo'n hoge waarde gevonden wordt is er zeker een verhoogde kans op vele gezondheidsklachten. Gedacht kan worden aan een ernstigere of dwingendere waarschuwing dan de al eerdere waarschuwing of een zwemverbod.

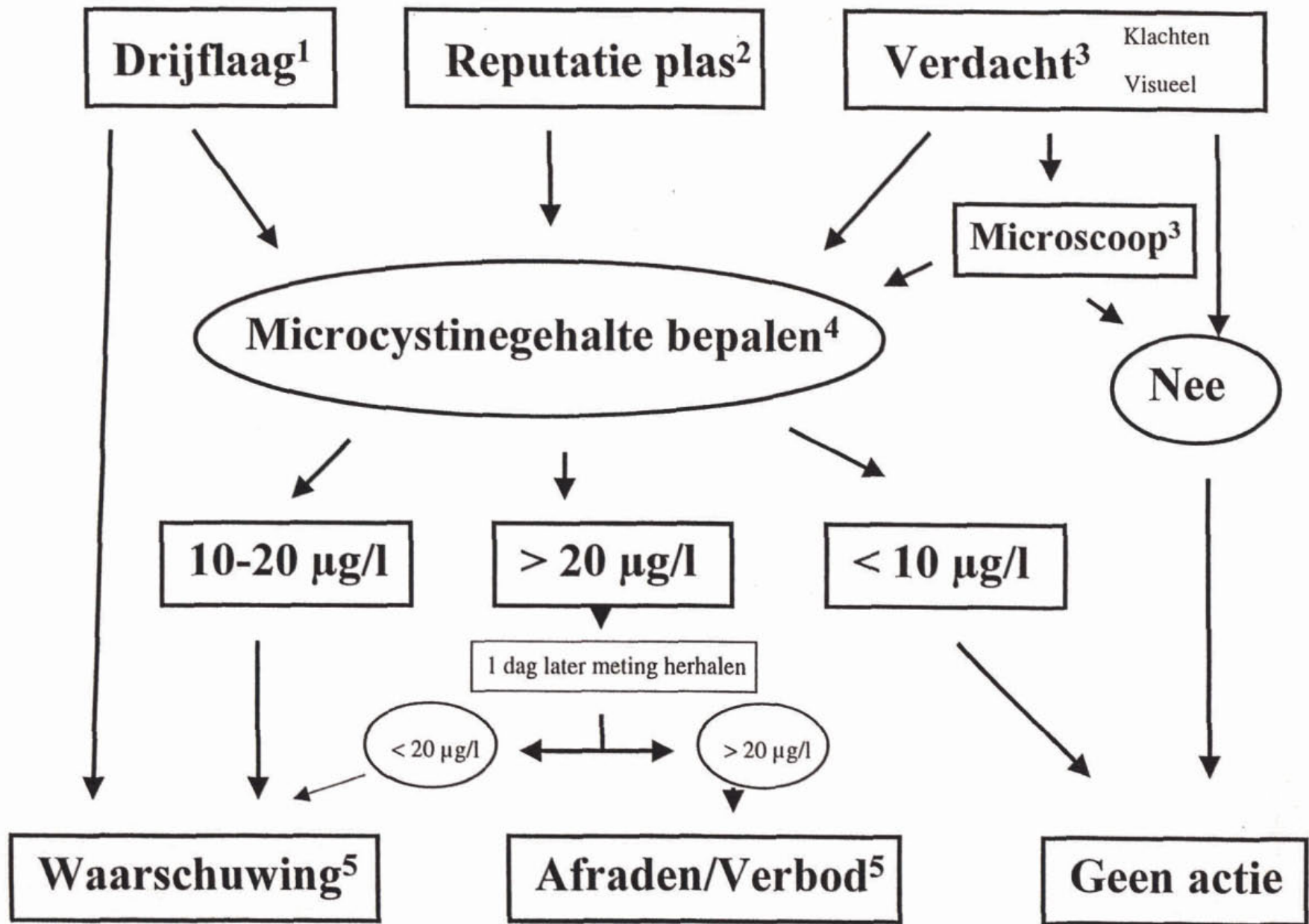
Een waarschuwing of verbod wordt opgeheven als de microcystine-gehalten weer tot een aanvaardbaar niveau zijn gedaald. (< 10 µg/l).

In geval van een drijfslag wordt geadviseerd de waarschuwing van kracht te laten zijn tot deze verdwenen is, omdat in drijfslagen allerlei rottingsprocessen kunnen optreden.

LITERATUUR

AquaSense (2000) Toxische blauwalgen in recreatiewateren. In opdracht van de STOWA, Aquasense rapportnummer. 1103-2.

WHO (1999) Toxic cyanobacteria in water. Eds. Ingrid Chorus and Jamie Bartram. E& FN Spon, London, NY. ISBN 0-419-23930-8.



(vervolg bijlage 6)

Bijlage bij: Veilig zwemmen: Blauwalgen in zwemwater

Methoden + kosten

HPLC-analyse

Benodigheden:

- Microcystine standaarden
- Diverse chemicaliën
- HPLC-DAD

Detectiegrens: 0.1 ng/ml voor extracellulair MC; 0.05 ng/ml voor intracellulair MC

Bijzonderheden: Alle MC's kunnen gedetecteerd worden. Geen inzicht in toxiciteit.

Kosten:

In eigen laboratorium: Materiaalkosten ca. fl 25,= per monster

Commerciële prijs ca. fl 300,= per monster

ELISA-immunokit

Benodigheden:

- Microcystine-standaarden
- Antilichamen (commercieel verkrijgbaar)
- Diverse chemicaliën
- Plate reader

Detectiegrens: 0.2 ng/ml voor extracellulair MC; 0.05 ng/ml voor intracellulair MC.

Conclusie: Gevoelig. Voorbehandelde platen zijn commercieel verkrijgbaar.

Niet alle microcystines worden gedetecteerd. Niet alle microcystines zijn getest.

Kosten:

In eigen laboratorium: Bij kwantificering (triplo ijklijn van 3 punten + blanco + 14 monsters bij 6 verdunningen → ca.. fl 75,= per monster.

Bij kwalitatief resultaat: minder verdunningen en daardoor lagere kosten.

Commerciële prijs ca. fl 225,- per monster

Ervaring met analyse van microcystines

Aquasense voert HPLC-analyses uit op commerciële basis. Heeft veel ervaring. (contactpersoon: Tineke Burger).

Waterschap Friesland doet 's zomers standaard de ELISA-techniek op eigen laboratorium. Relatief simpele methode. (contactpersoon: Rob van der Meer).

